



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE CRATEÚS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**THAMIRES XIMENES CAVALCANTE**

**ANÁLISE HIDRÁULICA DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UM  
MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE, CRATEÚS-CE**

**CRATEÚS**  
**2019**

THAMIRES XIMENES CAVALCANTE

ANÁLISE HIDRÁULICA DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UM  
MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE, CRATEÚS-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre.

CRATEÚS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- C364a Cavalcante, Thamires Ximenes.  
Análise hidráulica da rede de abastecimento de água de um município de médio porte, Crateús-CE /  
Thamires Ximenes Cavalcante. – 2019.  
65 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús,  
Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre.
1. Modelagem de Rede de abastecimento de água. 2. Simulação hidráulica. 3. Módulo UFC2. 4.  
EPANET. I. Título.

CDD 620

---

THAMIRES XIMENES CAVALCANTE

**ANÁLISE HIDRÁULICA DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UM  
MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE, CRATEÚS-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre.  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Me. Janine Brandão de Farias Mesquita  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Me. Tatiane Lima Batista  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, José Wilson e Antonia.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado coragem e sabedoria, para a realização dos meus sonhos.

A minha família, José Wilson, Antonia Ximenes, Thais Ximenes e Emilly Ximenes, por todo apoio e incentivo.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre, por ter me aceitado como orientanda, por toda compreensão e disponibilidade de tempo.

A Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece), por todo o auxílio e suporte na coleta de dados.

Aos membros da banca, Prof<sup>a</sup>. Me. Janine Brandão de Farias Mesquita e Prof<sup>a</sup>. Me. Tatiane Lima Batista, pela disponibilidade.

A todos os colegas d, que ao longo do curso contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal, em especial: Antonio Edimar dos S. Junior, Caio Soares Rosa, Daniel Gomes Diógenes, Francisco Igor S. Evangelista, Galileu Mendes de Araújo, Gleycianne Cavalcante M. de Sousa, Lucas Marques Oliveira, Lucas Pereira Lima, Marcela Vericimo do Nascimento, Moacir Lucas Beserra de Melo e Monalisa Elias de França.

A minha amada universidade, seu corpo docente, direção, administração, técnicos e serviço geral, por toda dedicação e carinho que exercem em seus trabalhos, tornando a universidade um lar.

“O futuro pertence àqueles que acreditam na  
beleza de seus sonhos.”

Eleanor Roosevelt

## RESUMO

O uso de modelos computacionais para a realização de simulação hidráulica de redes tem se tornado cada vez mais necessário para a gestão eficaz de redes de abastecimento complexas. O presente trabalho tem por objetivo elaborar e validar um modelo de rede, bem como realizar simulações hidráulicas para diferentes cenários, tanto para consumos médios atuais, como para os consumos máximos considerando o cenário atual e futuros com variação populacional. Tais simulações possuem o intuito identificar zonas pressões, velocidade e perda de carga nas tubulações que estão em desacordo com a NBR 12.218:2017 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público e as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece. O estudo de caso foi realizado na rede de abastecimento de água do município de Crateús, localizado na região oeste do estado do Ceará. A modelagem da rede foi elaborada por meio do módulo UFC2, através da interface gráfica do *software* AutoCad e a simulação hidráulica a partir do *software* EPANET 2.0. Por meio dos resultados produzidos neste estudo foi possível analisar o funcionamento e a susceptibilidade de falhas de abastecimento na do município de Crateús para o cenário atual e futuros, identificando as regiões mais críticas e a sua evolução no tempo.

**Palavras-chave:** Modelagem de Rede de abastecimento de água. Simulação hidráulica. Módulo UFC2. EPANET.



## ABSTRACT

The use of computational models to perform hydraulic network simulation has become increasingly necessary for the efficient management of complex supply networks. The present work aims to elaborate and validate a network model, as well as to perform hydraulic simulations for different scenarios, both for current average consumption and for maximum consumption considering the current and future scenario with population variation. Such simulations are intended to identify pressure, velocity and pressure drop zones in the pipelines that are in disagreement with NBR 12.218: 2017 - Public Water Supply Network Project and the Technical Standards for Cagece Water Supply and Sanitation Systems Projects. The case study was carried out in the water supply network of the municipality of Crateús, located in the western region of the state of Ceará. The network modeling was elaborated through the UFC2 module, through the graphical interface of the AutoCad software and the hydraulic simulation from the EPANET 2.0 software. Through the results produced in this study it was possible to analyze the functioning and the susceptibility of supply failures in the municipality of Crateús for the current and future scenario, identifying the most critical regions and their evolution in time.

**Keywords:** Water Supply Network Modeling. Hydraulic simulation. UFC2 module. EPANET.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Rede ramificada .....	20
Figura 2- Rede malhada.....	20
Figura 3- Rede mista .....	20
Figura 4- Fluxograma do método de pesquisa .....	28
Figura 5- Localização do Sertão de Crateús- com destaque Crateús .....	30
Mapa 1- Rede de abastecimento de água do município de Crateús .....	35
Mapa 2- Divisão da rede de abastecimento de água em zonas.....	36
Mapa 3- Levantamento topográfico na região da rede de abastecimento de água do município de Crateús .....	37
Gráfico 1- Projeção da população urbana.....	39
Mapa 4- Modelagem da rede de abastecimento de água do município de Crateús.....	42
Mapa 5- Distribuição de pressões hidráulicas para o consumo médio do ano de 2019 .....	44
Mapa 6- Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2019.....	47
Mapa 7- Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2025.....	49
Mapa 8- Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2030.....	51
Mapa 9- Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2035.....	53
Mapa 10- Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2040.....	55
Gráfico 2- Faixas de pressões para cada ano e suas respectivas porcentagem de áreas.....	56
Gráfico 3- Comprimento dos trechos com perda de carga superior ao limite.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Índice de perdas na distribuição (IN049) dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2017, segundo tipo de prestador de serviços, macrorregião geográfica e Brasil .	24
Tabela 2- Indicadores e informações operacionais do município de Crateús (2001-2017).....	34
Tabela 3- População Urbana de Crateús, IBGE– Censos 1991/2000/2010.....	38
Tabela 4- População Urbana Projetada.....	38
Tabela 5- População Urbana Projetada e Atendida .....	39
Tabela 6- Maiores consumidores .....	40
Tabela 7- Características básicas da tubulação.....	41
Tabela 8- Frequência e porcentagem da diferença entre pressões calculada e observada.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
DEHA	Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
ETA	Estação de Tratamento de Água
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GIS	<i>Geographical Information System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
NBR	Normas Brasileiras
Planasa	Plano Nacional de Saneamento
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RAA	Rede de Abastecimento de Água
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
Singreh	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UFC	Universidade Federal do Ceará

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Contextualização</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2 Justificativa</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.4 Roteiro temático</b> .....	<b>17</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Saneamento básico no Brasil</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2 Rede de abastecimento de Água</b> .....	<b>19</b>
<i>2.2.1 Definição</i> .....	<i>19</i>
<i>2.2.2 Traçado dos condutos</i> .....	<i>19</i>
<i>2.2.3 Projeto de redes de abastecimento</i> .....	<i>21</i>
<i>2.2.3.1 Vazão de Projeto</i> .....	<i>21</i>
<i>2.2.3.2 Projeção Populacional</i> .....	<i>21</i>
<i>2.2.3.2 Perda de carga</i> .....	<i>22</i>
<i>2.2.4 Problemas recorrentes em redes de abastecimento</i> .....	<i>23</i>
<b>2.3 Modelagem da rede</b> .....	<b>25</b>
<b>2.4 Simulação hidráulica</b> .....	<b>26</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1 Área de Estudo</b> .....	<b>33</b>
<i>4.1.1 Rede de Abastecimento de Água</i> .....	<i>33</i>
<i>4.1.2 Topografia</i> .....	<i>34</i>
<i>4.1.3 Projeção populacional</i> .....	<i>38</i>
<i>4.1.4 Demandas especiais</i> .....	<i>39</i>
<b>4.2 Modelagem da rede</b> .....	<b>40</b>
<b>4.3 Validação da rede</b> .....	<b>43</b>
<b>4.4 Cenarização hidráulica</b> .....	<b>45</b>
<i>4.4.1 Cenário 2019</i> .....	<i>46</i>
<i>4.4.2 Cenário 2025</i> .....	<i>48</i>
<i>4.4.3 Cenário 2030</i> .....	<i>50</i>
<i>4.4.4 Cenário 2035</i> .....	<i>52</i>
<i>4.4.5 Cenário 2040</i> .....	<i>54</i>

<i>4.4.6 Síntese dos resultados</i> .....	56
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	57
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	59
<b>APÊNDICE A- DADOS DE VALIDAÇÃO DA MODELAGEM</b> .....	63

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A água é um bem essencial para a sobrevivência e desenvolvimento de sociedades. De acordo com a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, trata-se de um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e de domínio público. Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019 (KONCAGÜL *et al.*, 2017), a demanda por água tem aumentado em todo o mundo a uma taxa de aproximadamente de 1% por ano desde a década de 1980, esse fato é consequência do crescimento populacional em combinação com desenvolvimento socioeconômico e de mudanças nos padrões de consumo.

Burek *et al.* (2016) estima que a demanda global da década de 2010 esteve entorno de 4600 km<sup>3</sup>/ano, com projeção de 5500 a 6000 km<sup>3</sup>/ano para década de 2050, com um aumento equivalente de 20 a 30%. Com o crescente aumento da demanda e a ampliação dos efeitos das mudanças climáticas, tem-se a intensificação dos níveis de estresse hídrico, a tendência geral é que as áreas úmidas se tornem mais úmidas e a secas, mais secas.

Segundo ANA (2012), o Brasil dispõe de aproximadamente de 12% da água doce superficial do mundo. No entanto, é um país de ampla variabilidade climática, gerada principalmente devido à grande extensão territorial, relevo, região costeira e a dinâmica das massas de ar. Esse fato possibilita a existência da diversificação entre as regiões brasileiras, ao ponto de ter regiões com clima bastante úmido e quente, como na Amazônia ou regiões com baixas temperaturas e altas precipitações, como no Sudeste, chegando a regiões críticas com altas temperaturas e baixas precipitações, como na região Nordeste.

Dessa forma, a distribuição dos recursos hídricos no país é irregular, e quando associada com a localização e concentração espacial da população urbana, fica ainda mais evidente a necessidade da realização de uma gestão eficaz dos recursos hídricos. De acordo com Silva (2012), a região Norte detém cerca de 78% da água do País para suprir 8,3% da população, enquanto o Nordeste, dispõe de 3,3% da água, para 27,8% da população.

A escassez de água vem apresentando fortes consequências, principalmente, na região do Semiárido, a tendência é que se tenha um aumento da problematização, com o passar dos anos, conforme a intensificação dos níveis de estresse hídrico. De acordo com o informe anual da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), em relação aos impactos gerados pela seca

sobre a população, o período de 2017 foi o mais crítico, em análise dos últimos 5 anos, cerca de 80% das pessoas afetadas localizam-se na Região Nordeste.

A diminuição da disponibilidade hídrica gera diversos impactos, sejam eles a níveis sociais, econômicos, ambientais, políticos, institucionais e/ou culturais, intensificando-se conforme os recursos se tornam mais limitados (CARVALHO, 2012). Neste sentido, as instituições responsáveis pelo planejamento, implantação, operação e gerenciamento das instalações de abastecimento, possuem a difícil missão de fornecer água em regime contínuo com qualidade, quantidade, pressão e de forma acessível para seus múltiplos usuários.

Além da diminuição da disponibilidade hídrica, as perdas e os desperdícios de água são fatores que mais comprometem o setor de abastecimento (PEREIRA, 2018). No Brasil, o índice de perdas na distribuição da rede de abastecimento de água é de 38,3%, atingindo valor de 46,3% para a região Nordeste (BRASIL, 2019), sendo um dos principais objetivos das companhias de água a redução dos índices de perda, especificamente as ocasionadas por conta de altas pressões na rede.

Dessa forma, é de suma importância para as companhias de água a utilização de ferramentas que auxiliam na gestão operacional de rede de abastecimento de água, principalmente em redes de distribuição que estão em processo de expansão, tornando-se mais complexa a operação, pois a expansão afeta diretamente a eficiência hidráulica da distribuição da água, a elaboração do balanço hidráulico da rede e a identificação e caracterização dos pontos de fugas, além das alterações de pressões do sistema.

O uso de modelos computacionais para a realização de simulação hidráulica de redes tem se mostrado como uma ferramenta eficaz para auxílio à gestão operacional, possibilitando simular diversos cenários, com variações temporais, físicas e operacionais da rede.

## **1.2 Justificativa**

O município de Crateús, situado no Estado do Ceará, possui população total estimada de 75.074 habitantes para o ano de 2019, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A rede de abastecimento de água do município apresenta comprimento total de aproximadamente 200 mil metros e possui índice de atendimento urbano de 99,96%.

A rede de abastecimento do município está atualmente em processo de expansão e



modificação no material e diâmetro de alguns trechos antigos, essas modificações acarretam alterações das características operacionais da rede, ocasionando assim, variações nos valores de pressão, perda de carga, velocidade de escoamento, entre outros parâmetros hidráulicos necessários para o gerenciamento racional. A rede possui elevado índice médio de perdas na distribuição, para o período de 2001 a 2017 foi observado um valor de 34,83%.

Nesse âmbito, torna-se evidente a importância da elaboração de um modelo da rede de abastecimento e realização de simulações hidráulicas, a fim de verificar se são atendidos os limites dos parâmetros de funcionamento determinados pela ABNT - NBR 12.218:2017 (Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público) e as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece. Uma vez, que a rede ao ser operada fora dos parâmetros pode ocasionar intermitência no abastecimento, queda da quantidade e qualidade da água, vazamentos por danos nas tubulações, elevação dos custos operacionais e entre outros, torna-se relevante a análise hidráulica da rede de abastecimento de água do município de Crateús-Ce.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desse trabalho é a realização da análise do comportamento hidráulico da rede de abastecimento de água (RAA) da zona urbana do município de Crateús.

#### **1.3.2 Objetivo específico**

Os objetivos específicos são:

- > Elaborar o modelo da atual rede de abastecimento de água;
- > Realizar a simulação hidráulica do comportamento da rede para consumos médios atuais;
- > Validar a rede de abastecimento de água modelada;
- > Realizar simulações hidráulicas do comportamento da rede para os consumos máximos considerando o cenário atual e futuros com variação populacional;
- > Analisar zonas de pressões, velocidade e perda de carga nas tubulações de acordo com a NBR 12.218:2017 – Projeto de Rede de Distribuição de Água

para Abastecimento Público e as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece.

#### **1.4 Roteiro temático**

Este trabalho é constituído por cinco seções. A primeira seção introduz uma breve contextualização do tema, assim como, a definição da problemática, justificativa e objetivos do trabalho em questão. A seção seguinte apresenta o referencial teórico, constituído por quatro partes, na primeira tem-se uma breve abordagem sobre saneamento básico no Brasil, na segunda parte são apresentados os principais conceitos sobre redes de abastecimento de água, perpassando por definição, classificação, projeto e problemas recorrentes. Já na terceira e quarta parte, expõe a Modelagem da rede e Simulação hidráulica, abordando definições e as características dos programas utilizados.

A terceira seção é composta pela descrição metodológica, na qual esclarece os passos necessários para obtenção dos dados e a geração dos resultados. A quarta seção apresenta os resultados obtidos e as discussões cabíveis aos mesmos, abrangendo a rede de abastecimento, topografia, projeção populacional, demandas especiais da área de estudo, além da modelagem da rede e a ctenarização hidráulica. Por fim, a última seção expõe as conclusões obtidas através dos resultados deste estudo, bem como sugestão para realização de estudos futuros, voltados para o município de Crateús.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão expostos os conhecimentos essenciais para a execução deste estudo, sendo: saneamento básico no Brasil, rede de distribuição de água, modelagem da rede de abastecimento de água e simulação hidráulica.

### 2.1 Saneamento básico no Brasil

Saneamento básico é definido como o conjunto de ações realizadas sobre o meio ambiente, sendo elas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem pluvial, limpeza pública e controle de vetores, visando preservar o bem-estar físico, mental e social dos indivíduos (HELLER e PÁDUA, 2016).

O saneamento básico no Brasil desenvolveu-se de acordo com os aspectos políticos, sociais e econômicos de cada período do país. De acordo com Leoneti *et al.* (2011), nas últimas décadas do século XX, houve o aumento de investimentos em saneamento básico, principalmente na década de 1970 e 1980, em busca da diminuição das taxas de mortalidade. Neste período, ocorreu a consolidação do Plano Nacional de Saneamento (Planasa). Conforme Tsutiya (2006), o plano proporcionou progresso em relação a implantação de sistema de abastecimento de água (SAA), possibilitando ao país alcançar níveis de atendimento por volta de 90% da população urbana.

Nos últimos anos, com a finalidade de promover a racionalização do uso da água e estabelecer instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, a Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, mais conhecida como Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). Em janeiro de 2007, criou-se a Lei nº 11.445, que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico do país. Ambas representam as principais normas que regulamentam o setor de saneamento do Brasil.

A Lei Nº 11.445 instituiu que os serviços públicos de saneamento básico devem ser prestados com base em sistemas de informações. O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) é a principal fonte de informações sobre o saneamento básico no Brasil. De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017, o país apresenta níveis elevados de abastecimento de água, com uma média nacional de 93,0% da população urbana, em relação a coleta de esgoto urbano o índice médio de atendimento é de 60,2% nas áreas

urbanas das cidades brasileiras. Na região do Nordeste, tem-se níveis inferiores de atendimento, com 88,8% para atendimento de abastecimento urbano e 34,8% para a coleta de esgoto urbano.

## **2.2 Rede de abastecimento de Água**

### **2.2.1 Definição**

Conforme Azevedo Netto *et al.* (2014), a rede de abastecimento de água (RAA) é uma unidade do sistema de abastecimento de água (SAA), constituído por conjunto de tubulações e peças acessórias, com finalidade de conduzir água até os pontos de consumo, garantindo o atendimento aos consumidores de forma contínua em quantidade e pressões recomendadas.

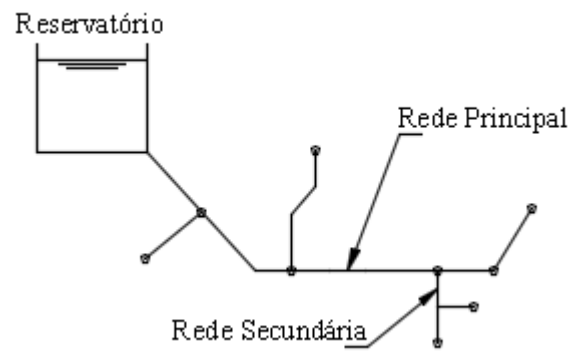
A RAA é um componente de suma importância, pois é responsável por garantir que a água produzida chegue aos consumidores em regime contínuo, sem a perda de sua qualidade, com quantidade e pressão estabelecida por normas, além de caracterizar-se por ser o componente de maior custo, chegando a mais de 50% do valor de implantação do SAA (HELLER e PÁDUA, 2016).

### **2.2.2 Traçado dos condutos**

Normalmente a rede é dividida em dois tipos de condutos, os principais ou troncos e os secundários. No qual, os principais são os condutos de maior diâmetro e responsáveis por abastecer os condutos secundários, ao passo que estes, possuem menor diâmetro e são responsáveis por abastecer diretamente os pontos consumidores (PORTO, 2006). Ainda segundo o autor, as redes podem ser classificadas de acordo com a disposição dos condutos e o sentido de escoamento, sendo: ramificada, malhada e mista.

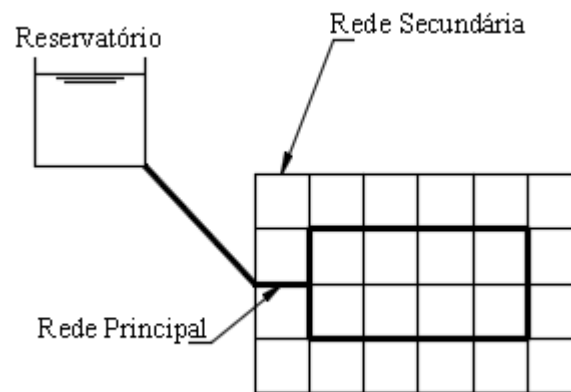
As redes ramificadas são caracterizadas por possuir abastecimento a partir da tubulação principal, com distribuição realizada por tubulações secundárias, sendo conhecido o sentido do escoamento. Já as redes malhadas possuem como característica a formação de anéis ou blocos com tubulações principais, o sentido do escoamento não é conhecido, uma vez que pode abastecer qualquer ponto por mais de um caminho. Enquanto as mistas são caracterizadas pela junção de ambas as redes supracitadas anteriormente (TSUTIYA, 2006). Nas figuras a seguir visualiza-se as três classificações de rede de abastecimento de água.

Figura 1- Rede ramificada



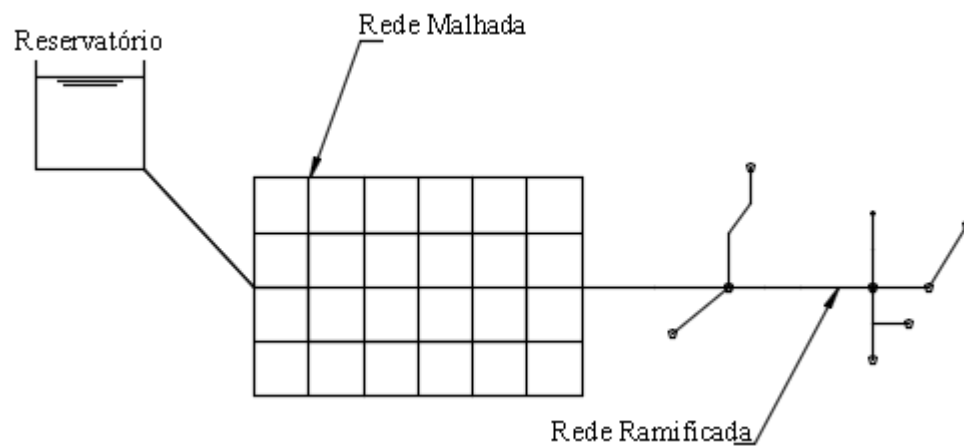
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 2- Rede malhada



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 3- Rede mista



Fonte: Autoria própria (2019).

### 2.2.3 Projeto de redes de abastecimento

A norma da ABNT, NBR 12.218:2017 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público estabelece as condições para elaboração do projeto de RAA para abastecimento público. De acordo com a mesma, o projeto deve atender os limites de: pressão dinâmica mínima de 100 kPa, pressão estática máxima de 500 kPa, velocidade mínima de 0,60 m/s e velocidade máxima de 3,5 m/s. As Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece, além de estabelecer os limites supracitados, recomenda para o parâmetro de perda de carga unitária o limite máximo de 0,008 m/m ou 8 m/km.

#### 2.2.3.1 Vazão de Projeto

O dimensionamento de redes além de seguir os parâmetros de projetos estabelecido pela norma supracitada, tem em vista a consideração de um conjunto amplo e diferenciado de demandas, considerando o período de alcance futuro do projeto. Assim a vazão de projeto é dependente da estimativa populacional, consumo per capita (que engloba o consumo doméstico, comercial, público e industrial e as perdas que ocorrem no sistema) e dos coeficientes e fatores de correção de vazão (referentes às variações de demandas ao longo do dia e hora de maior consumo). Por fim, a vazão de projeto para rede pode ser calculada por meio da Equação 01, de acordo com Tsutiya (2006).

$$Q = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot P \cdot q}{86.400} \quad (01)$$

Em que: Q = vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s); k<sub>1</sub> = coeficiente do dia de maior consumo; k<sub>2</sub> = coeficiente da hora de maior consumo; P = população abastecida (hab); q = consumo per capita (m<sup>3</sup>/hab.dia).

#### 2.2.3.2 Projeção Populacional

A estimativa populacional pode ser calculada por diversos métodos, os principais são: crescimento aritmético, crescimento geométrico, regressão multiplicativa, taxa decrescente de crescimento, curva logística, comparação gráfica entre cidades similares, método da razão e

correlação e previsão com base nos empregos (FAIR *et al.*,1973; RAMESH *et al.*, 2012; TSUTIYA, 2006; e HELLER e PÁDUA, 2016).

Os métodos utilizados para estimativas de menor prazo são os métodos de projeção aritmético e geométrico (HELLER e PÁDUA, 2016). De acordo com o autor, o método aritmético assume uma taxa de crescimento constante, a partir dos dados de entrada, podendo ser exposto matematicamente por:

$$\frac{dP}{dt} = K_a \quad (02)$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} \quad (03)$$

$$P_t = P_0 + K_a(t - t_0) \quad (04)$$

em que,  $dP/dt$  é a taxa de crescimento populacional,  $K_a$  é o coeficiente de projeção aritmética,  $P_0$ ,  $P_2$  e  $P_t$  são os valores da população no período de tempo  $t_0$ ,  $t_2$  e  $t$ .

Assim, através da Equação 04, tem-se a projeção desse método para o valor de tempo  $t$ . O método geométrico pressupõe uma taxa de crescimento populacional em função da população existente a cada instante, podendo ser exposto matematicamente por:

$$\frac{dP}{dt} = K_g P \quad (05)$$

$$K_g = \frac{\log P_2 - \log P_0}{t_2 - t_0} \quad (06)$$

$$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)} \quad (07)$$

em que,  $K_g$  é o coeficiente de projeção geométrico. Por meio da Equação 07, tem-se a projeção geométrica para o valor de tempo  $t$ .

### 2.2.3.2 Perda de carga

O fluido ao escoar perde parte da sua energia em calor. Essa perda de energia

denomina-se perda de carga, uma vez que não se pode recuperar na forma cinética e/ou potencial. A perda de carga pode ser classificada em distribuída e concentrada. A perda de carga distribuída é ocasionada, principalmente, por conta do atrito interno entre partículas gerado transversalmente ao escoamento em diferentes velocidades (BAPTISTA E COELHO, 2018).

A perda de carga distribuída pode ser calculada por diversas formulações. A NBR 12.218:2017 recomenda que para projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, o cálculo da perda de carga distribuída seja feito preferencialmente pela fórmula Universal ou de Darcy-Weisbach.

Já as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece, sugerem que para dimensionamento hidráulico das tubulações seja utilizado a fórmula de Hazen-Williams ou Darcy-Weisbach. De acordo com Baptista e Coelho (2018), a fórmula de Darcy-Weisbach e Hazen-Williams são representadas por meio da Equação 08 e 09, respectivamente.

$$\Delta h = \frac{f U^2}{D} \frac{L}{2g} \quad (08)$$

Em que:  $\Delta h$  = perda de carga contínua (m);  $f$  = coeficiente de perda de carga;  $D$  = diâmetro do conduto (m);  $U$  = velocidade média do escoamento (m/s);  $g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ) e  $L$  = comprimento do conduto (m).

$$J = 10,65 \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}} \quad (09)$$

Em que:  $J$  = perda de carga unitária (m/m);  $Q$  = vazão ( $m^3/s$ );  $C$  = coeficiente de rugosidade ( $m^{0,367}/s$ ) e  $D$  = diâmetro do tubo (m).

#### **2.2.4 Problemas recorrentes em redes de abastecimento**

A rede de abastecimento de água (RAA) pode apresentar alguns problemas quando está funcionando com os parâmetros fora dos limites estabelecidos em norma. Os problemas mais recorrentes estão relacionados com os valores de pressões superiores ou inferiores aos determinados.

As regiões com pressões superiores ao limite de 500 kPa ou 50 metros de coluna



de água (mca), costumam estar localizadas nas zonas topográficas com cotas mais baixas e que possuem grandes diferenças em relação à altura de saída de água do reservatório. Essas regiões estão mais susceptíveis a apresentarem problemas de perdas de água, devido gerarem rupturas nas tubulações ocasionando vazamentos na rede.

Conforme Moura *et al.* (2004), as perdas de água acarretam altos custos de energia elétrica, desperdício de recursos hídricos, prejuízos operacionais e de receita para as companhias de abastecimento. Sendo assim, as companhias buscam cada vez mais a minimização dos índices de perdas por meio de uma gestão operacional eficaz. No ano de 2017, o Brasil apresentou índice de perdas na distribuição de 38,3% e de 46,3% para a região Nordeste, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1- Índice de perdas na distribuição (Código SNIS – IN049) dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2017, segundo tipo de prestador de serviços, macrorregião geográfica e Brasil

Macror-região	Tipo de prestador de serviços					Total (%)
	Regional (%)	Micror-regional (%)	Local			
			Direito Público (%)	Direito Privado (%)	Empresa Privada (%)	
Norte	53,7	-	38,8	-	73,1	55,1
Nordeste	47,4	-	38,9	34,6	-	46,3
Sudeste	32,8	26,2	39	30,4	35,2	34,4
Sul	37,1	28,9	34,2	45,7	36,7	36,5
Centro-Oeste	30,3	49,4	37,7	-	43	34,1
Brasil	37,8	27,5	38,1	33,9	48,1	38,3

Fonte: Brasil (2019).

As regiões com pressões inferiores ao limite de 100 kPa ou 10 mca, geralmente estão localizadas em regiões com cotas topográficas elevadas, trechos com altos valores de perda de carga, em áreas de expansão (quando realizadas sem critério técnico) e/ou regiões com grandes vazamentos. Essas regiões são susceptíveis a ocorrência de intermitência do abastecimento de água, principalmente nos horários em que se tem o aumento da demanda ou diminuição da oferta de água. Pereira *et al.* (2018), cita a ocorrência de pressão abaixo de zero como sendo o principal indicador da intermitência na distribuição, além de possibilitar a infiltração de impurezas nos condutos, afetando assim a qualidade da água.

De acordo com Barreto *et al.* (2006) e Melo *et al.* (2018), a setorização da RAA apresenta impactos positivos, sendo a ferramenta ideal para realização do controle operacional de redes, possibilitando uma gestão mais eficaz dos valores de pressão e de redução das perdas físicas. Proporcionando assim, uma maior eficiência energética, contribuindo para a minimização dos desperdícios de recursos hídricos, operacionais e econômico para as companhias de abastecimento.

### 2.3 Modelagem da rede

O uso de ferramentas computacionais em problemas de engenharia vem se tornando cada vez mais frequente e necessário. Segundo Coelho *et al.* (2006), os modelos de simulação são ferramentas que possibilitam analisar e prever o funcionamento hidráulico e parâmetros de qualidade, com uma margem de erro estimável, de acordo com as características dos seus componentes, operação e dos consumos solicitados.

Um dos passos que consomem mais tempo e esforço para realização da simulação hidráulica da rede de abastecimento é a composição dos arquivos de entrada de dados, ou seja, a inserção dos dados de modelagem da rede (COSTA *et al.*, 2006). A fim de minimizar o tempo consumido na fase de pré-processamento da simulação computacional de uma rede hidráulica, torna-se cada vez mais intensa a utilização de *softwares* tradicionais de desenho CAD (*Computer Aided Design*) ou *softwares* do tipo GIS (*Geographical Information System*).

O *software* AutoCad, desenvolvido pela Autodesk, é uma ferramenta de desenho que permite ao usuário agilidade em seus projetos, sendo uma das mais utilizadas no meio da engenharia. Assim diante dos fatos supracitados o Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA) desenvolveu o Sistema UFC.

O Sistema UFC é composto por um conjunto de *softwares* voltados para o desenvolvimento de atividades relacionadas ao traçado e dimensionamento hidráulico de adutoras, redes de esgoto e de abastecimento. O sistema disponibiliza o módulo UFC2, voltado para a criação de um arquivo de entrada para um programa de simulação hidráulica, possibilitando ao usuário exportar arquivos do programa AutoCad para o *software* EPANET, através da programação AutoLisp.

Segundo Costa *et al.* (2006) e Castro (2004), o módulo UFC2 proporciona aos usuários a utilização da interface gráfica do AutoCAD, proporcionando economia de tempo e facilidade em desenvolver a modelagem da simulação, além disso, tem-se mais precisão na modelagem, uma vez que minimiza-se os erros cometidos na entrada de dados.

Para a elaboração do modelo de uma rede de distribuição são necessários alguns elementos de entrada, entre eles (HELLER e PÁDUA, 2016):

- > Levantamento planialtimétrico da região do sistema que se deseja modelar;
- > Informações sobre o sistema a ser modelado, como as características dos trechos e reservatórios, curvas das bombas das estações elevatórias e status dos registros de manobras;

- > Informações de consumo a serem alocadas nos respectivos nós;
- > Curva de demanda horária, em caso de análise dinâmica, ou seja, considerar a variação de consumo nos nós ao longo de um determinado período.

Antes da realização da simulação hidráulica é necessário verificar se a modelagem da rede está em conformidade com a realidade por meio da calibração e/ou validação. Alegre (1999) relata que a calibração é uma etapa importante da modelagem, sendo um processo dinâmico, no qual realiza-se modificações necessárias, de forma a aproximar o modelo com a realidade. O processo de calibração de um modelo de distribuição de água está voltado para o ajuste de um conjunto de parâmetros físicos e operacionais, com a finalidade de aumentar a acurácia entre os valores medidos e simulados de pressão e vazão (SILVA, 2014).

Já a validação da rede é realizada por meio da comparação entre resultados do modelo e resultados de medições realizadas *in loco*. Esse processo tem como objetivos a elaboração de um modelo fidedigno a realidade, identificar erros de construção ou de outra natureza e proporcionar conhecimento e compreensão do sistema (CORREIA, 2012).

## 2.4 Simulação hidráulica

A simulação do comportamento hidráulico pode ser utilizada para prever a sua resposta diante das condições operacionais e ambientais. Permitindo a antecipação dos problemas podem assim ser antecipadas as soluções e avaliadas antes de os investimentos serem realizados (COELHO *et al.*, 2006). Dessa forma, a realização da simulação computacional de desempenho hidráulico, possibilita a previsão das alterações de vazão, pressão, velocidade, perda de carga, entre outras análises da rede de distribuição.

Há diversos *softwares* de simulação hidráulica disponíveis, os principais são Hidrocad, EPANET, Watercad, Strumap e SynerGee. Optou-se pelo *software* EPANET por ser um programa gratuito e de domínio público, com grande aceitação nacional e internacional, além de ser compatível com o uso do Módulo UFC2 e de ser um dos simuladores mais testados, analisados e confiáveis para estudos hidráulicos.

O *software* EPANET foi desenvolvido pela agência norte-americana *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA). O *software* é um programa gratuito e de domínio público, possui código-fonte aberto, possibilitando que os usuários incorporem outras rotinas de cálculo. O programa executa simulações estáticas e dinâmicas, tanto para análise hidráulica como de qualidade de água, sendo assim, uma ferramenta de apoio a gestão operacional dos

recursos hídricos.

Em relação a simulação hidráulica, o programa é composto por um conjunto de ferramentas de cálculo, com destaque (ROSSMAN *et al.*, 2000):

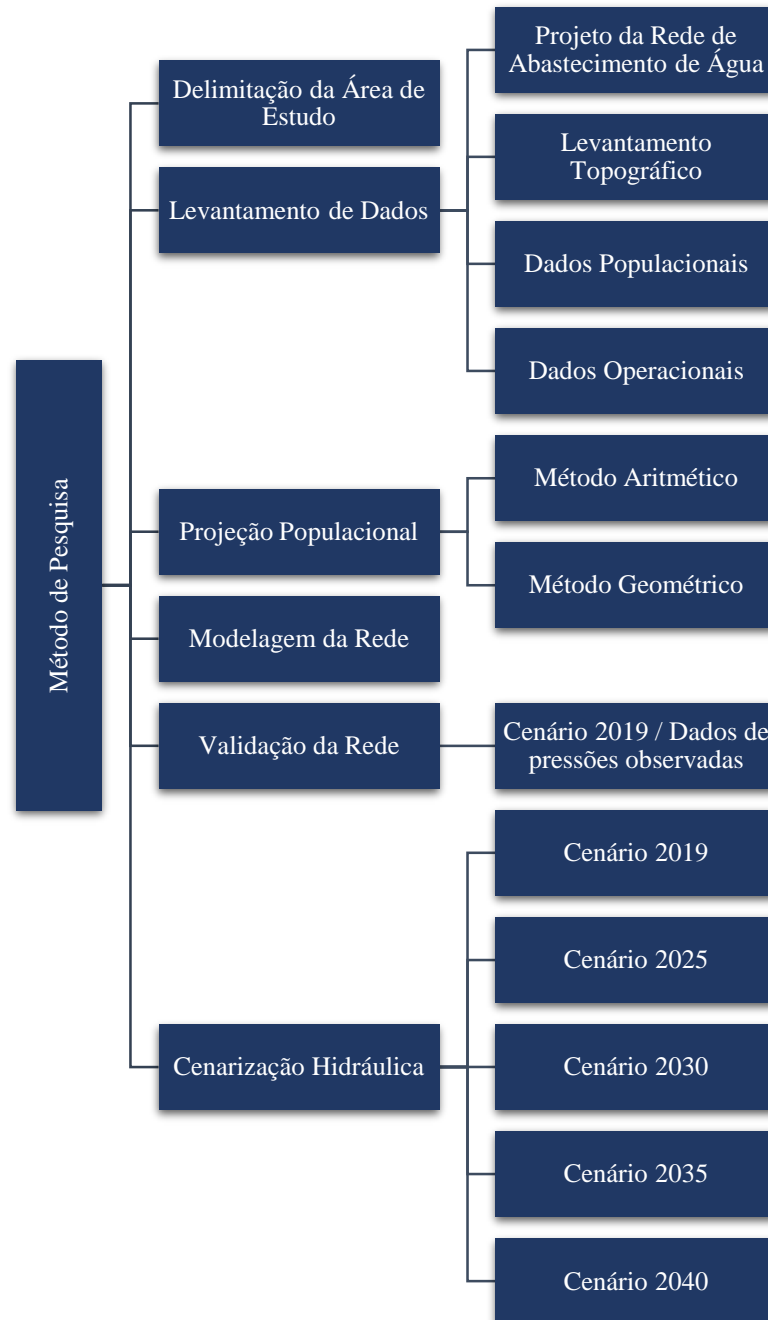
- > Número ilimitado de componentes da rede analisada;
- > Cálculo de perda de carga por meio das formulações de Hazen Willians, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- > Modelagem dos principais tipos de válvulas;
- > Modelagem de bombas, tanto em velocidade constante como variável;
- > Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável, por meio de curvas de volume em função da altura;
- > Possibilidade de utilização de múltiplas categorias de consumo nos nós;
- > Modelagem da relação pressão e vazão efluente de dispositivos emissores;
- > Condições de operação do sistema em controles simples (única condição) ou em controles de condições múltiplas.

Dessa forma, o *software* pode ser aplicado para desenvolvimento dos mais diversos trabalhos voltados para simulação hidráulica. Barreto *et al.* (2006), Fontana (2012), Gomes *et al.* (2017) e Freire (2017), utilizaram o EPANET para análise de setorização de redes de abastecimento. Ishihara *et al.* (2009), Gouveia (2012), Iglesias-Rey *et al.* (2015), Teles (2017) e Pereira Junior *et al.* (2018), aplicaram o *software* para estudo de métodos de dimensionamento e/ou otimização operacional de rede. Soares *et al.* (2004), Rossigneux *et al.* (2004), Neves *et al.* (2008), Moreira (2011), Figueiredo (2012), Silva (2014) e Barroso *et al.* (2010), realizaram a análise hidráulica para rede de abastecimento com ênfase para perdas de água.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção apresenta-se os procedimentos metodológicos utilizados para o alcance dos objetivos propostos. No fluxograma representado na Figura 4, tem-se o detalhamento das atividades desenvolvidas no estudo.

Figura 4- Fluxograma do método de pesquisa



Fonte: Autoria própria (2019).

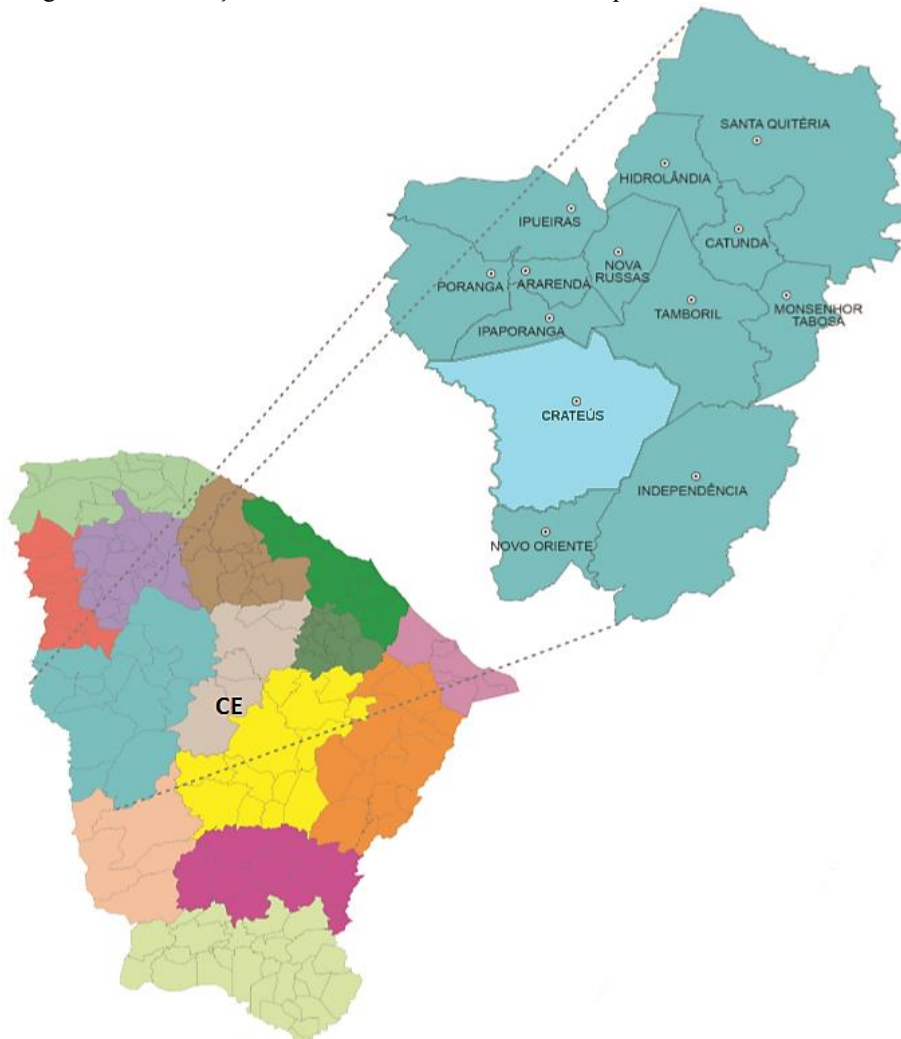
A metodologia de pesquisa classifica-se em natureza quantitativa, com objetivos exploratórios, através de um estudo de caso, por meio de coleta de dados documental. Segundo

Richardson (2011), uma pesquisa quantitativa caracteriza-se por se basear em dados mensuráveis, com tratamento dos mesmos por meios de ferramentas estatísticas, desde as mais simples como percentual a às mais complexas. De acordo com Yin (2010), o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, possuindo uma estratégia de pesquisa abrangente. Roesch (2006), ainda relata que o estudo de caso permite um amplo e rico conhecimento sobre o objeto de estudo.

O estudo foi realizado para rede de abastecimento de água do município de Crateús. No entanto, o estudo foi limitado às regiões que são abastecidas diretamente por meio dos reservatórios situados na Estação de Tratamento de Água (ETA) do município. A pesquisa voltou-se para a modelagem, simulação e análise hidráulica da Rede de abastecimento de água (RAA) do município, englobando a avaliação dos principais parâmetros para a gestão operacional de rede de abastecimento: pressão, perda de carga e velocidade. A análise hidráulica foi realizada de acordo com a NBR 12.218:2017 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público e as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece.

O município de Crateús está situado no estado do Ceará, nas coordenadas 5°10'42"(S) e 40°40'39"(WGr), a uma distância em linha reta de 293 km da capital (Fortaleza). De acordo com dados do IPECE (2019), o município possui área absoluta de 2.985,1 km<sup>2</sup>, com população total estimada de 75.074 habitantes para o ano de 2019, sendo a principal cidade da microrregião do Sertão de Crateús, a 5ª mais desenvolvida e o 10ª maior PIB do estado do Ceará, ela é classificada como de médio porte. A Figura 5 mostra a localização da área de estudo.

Figura 5- Localização do Sertão de Crateús- com destaque Crateús



Fonte: IPECE (2018).

Este estudo utilizou o projeto da rede de abastecimento de água e o levantamento topográfico do município de Crateús, fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Os dados operacionais foram obtidos por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e da CAGECE. Já os dados populacionais aplicados no estudo, foram coletados no Perfil Municipal de Crateús, documento elaborado pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A companhia de água disponibilizou, além dos dados supracitados, medições de pressões na rede e o consumo mensal dos maiores clientes.

Através dos dados coletados no Perfil Municipal de Crateús 2017 (IPECE, 2018), foi realizada a projeção populacional da zona urbana do município para o horizonte de planejamento de 20 anos, finalizando no ano de 2040. Entre os métodos mais comuns para o cálculo de projeção populacional (método aritmético, geométrico, regressão multiplicativa, taxa de decrescente de crescimento e curva logística), adotou-se o uso de dois métodos, o aritmético

e o geométrico. Ambas projeções são indicadas para estimativas de menor prazo de tempo, sendo as mais utilizadas.

Para o desenvolvimento da modelagem utilizou-se o projeto da rede de abastecimento e o levantamento topográfico, contendo as curvas de nível metro a metro, do município de Crateús. Realizou-se a modelagem da rede de abastecimento com a aplicação do Sistema UFC, mais precisamente com a utilização do módulo UFC2, através da interface gráfica do *software* AutoCad, pois o mesmo permite através da programação AutoLisp a exportação da rede para o *software* EPANET. O módulo UFC2 possibilita aos usuários economia de tempo na etapa da modelagem, devido a facilidade em desenhar e atribuir as propriedades físicas ao traçado da rede e entre outras características, sendo assim a ferramenta ideal para a realização da modelagem. Neste estudo será realizado apenas a validação da modelagem, devido não possuir dados de medição de vazão e pressão em um ponto e instante de tempo determinados.

Realizou-se a validação da modelagem por meio das diferenças entre os dados de medições de pressões *in loco* e as pressões calculadas pelo *software* EPANET. No total, foram fornecidos valores de 116 pontos em diferentes regiões do município. As medições de pressões fornecidas foram realizadas pela CAGECE e correspondem ao período de junho a julho de 2019.

Para a validação foi adotado o cenário 2019 simulado com condições médias de abastecimento, ou seja, permanente, não considerando as variações das demandas em função do horário e dia de maior consumo. Ressalta-se que para a simulação hidráulica adotou-se a fórmula de Darcy-Weisbach, uma vez que, conforme Porto (2006), pela importância da rede de distribuição exige-se que os cálculos de perdas de cargas sejam rigorosos e, devido à incerteza sobre o tipo de escoamento turbulento, deve-se utilizar a fórmula de Darcy-Weisbach.

Para o desenvolvimento das simulações hidráulicas utilizou-se a modelagem da rede validada, os valores das projeções populacionais e o consumo per capita atual do município de Crateús. A simulação hidráulica foi realizada através do *software* EPANET 2.0, que além de ser um *software* livre e gratuito, possui grande adesão de usuários (nacional e internacional) e caracteriza-se como uma ferramenta eficaz para execução de simulações estáticas do comportamento hidráulico em redes de distribuição pressurizada, justificando assim a utilização do mesmo.

Este trabalho englobou cinco cenários, com objetivo de analisar o funcionamento hidráulico da rede de abastecimento atual e para o horizonte de 20 anos, considerando as demandas de consumo para a hora e dia de maior consumo, a fim de analisar o comportamento da rede para o consumo máximo. Ressalta-se, a adoção do coeficiente do dia de maior consumo



( $k_1$ ) igual a 1,2 e o coeficiente da hora de maior consumo ( $k_2$ ) igual a 1,5. As simulações foram realizadas com o mesmo valor do consumo per capita, tendo variações apenas nos valores populacionais. Assim como na simulação hidráulica realizada para a validação da modelagem, adotou-se a fórmula de Darcy-Weisbach para o dimensionamento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção é dedicada a apresentação e discussão dos resultados do estudo, com ênfase nas análises hidráulicas da rede de abastecimento do município de Crateús. Primeiramente é apresentada a área de estudo, este tópico é dedicado a análise dos dados sobre: a rede de abastecimento de água, a topografia, a projeção populacional e as demandas especiais do município.

Em seguida são expostos os resultados e discussões divididos nos seguintes tópicos: modelagem e validação da rede; e por fim, o tópico de cenarização hidráulica, o qual divide-se nos cenários de 2019, 2025, 2030, 2035 e 2040, apresentando os mapas de distribuição de pressões hidráulicas, considerando as demandas de consumo para a hora e dia de maior consumo para cada cenário e suas devidas análises.

### 4.1 Área de Estudo

#### 4.1.1 Rede de Abastecimento de Água

A rede de abastecimento do município de Crateús possui no total 193.036,79 metros de extensão. Atualmente, ela vem passando por modificações como a troca de tubulações e expansão. De acordo com as informações fornecidas pela companhia de abastecimento, a atual rede de abastecimento possui índice de atendimento urbano de 99,96% e consumo médio per capita de 150 l/hab/dia. No Mapa 1, tem-se a rede de abastecimento de água do município de Crateús

O abastecimento do município é realizado por meio de dois reservatórios, sendo um elevado para abastecer a região mais alta, com capacidade de 750 m<sup>3</sup>, e outro apoiado, destinado para a região baixa do município, com capacidade de 1000 m<sup>3</sup>, em busca da redução das pressões no setor baixo e melhoria do abastecimento na região alta. Dessa forma, o abastecimento é dividido em zona alta e baixa, havendo a conexão entre zonas para o abastecimento de apenas quatro bairros: Cajás, Patriarca, Cidade 2000 e Dom Frágoso. Através do Mapa 2, observa-se a divisão da rede de abastecimento em zonas.

A Tabela 2, mostra os valores médios para os indicadores e informações operacionais do município, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), para o período de 2001 a 2017.

Tabela 2- Indicadores e informações operacionais do município de Crateús (2001-2017)

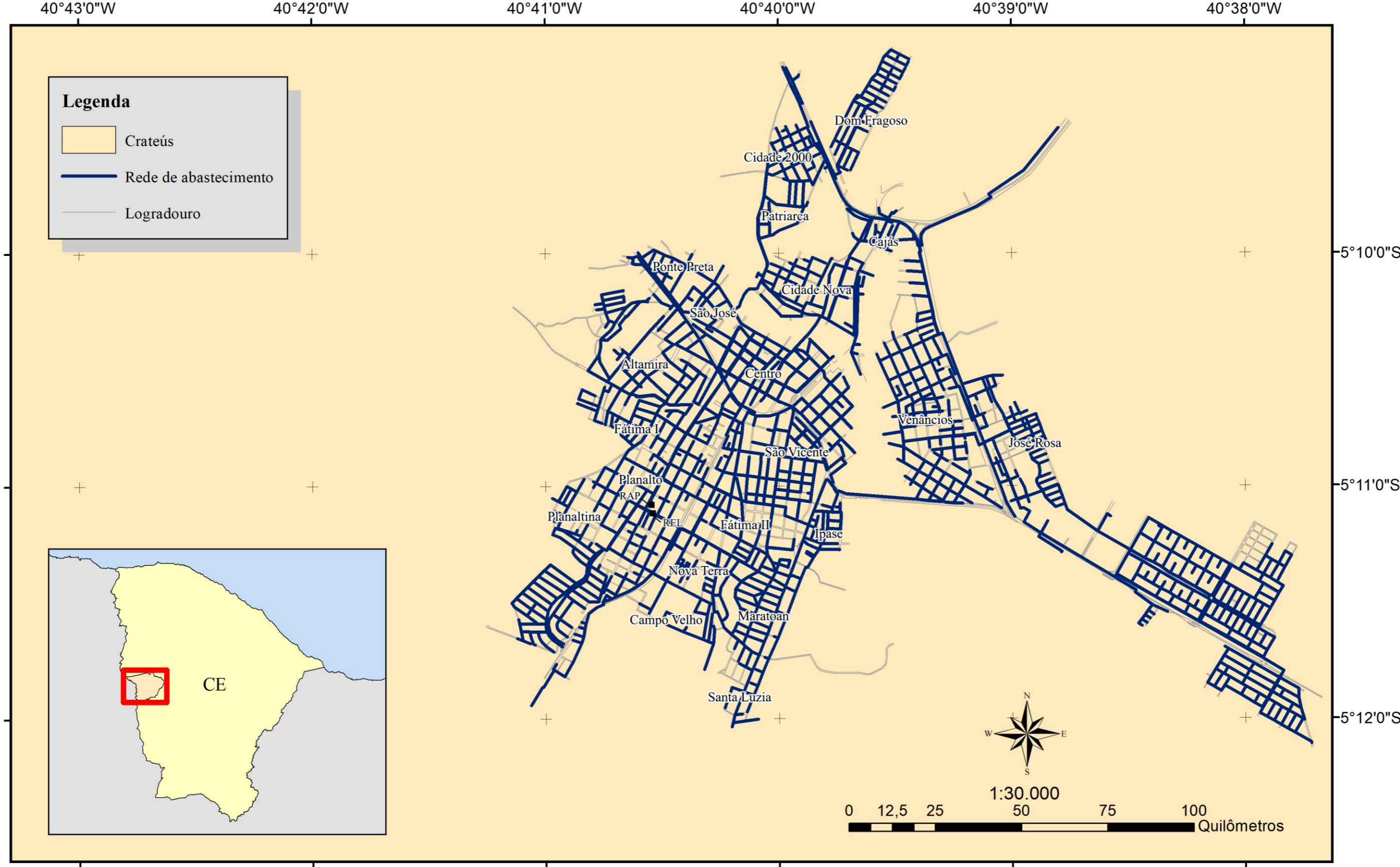
<b>Ano</b>	<b>Índice de Atendimento Urbano (%)</b>	<b>Índice de Perdas na Distribuição (%)</b>	<b>Ligações Ativas Micromedidas</b>	<b>Volume Produzido (m³/ano)</b>	<b>Volume Micromedio (m³/ano)</b>
2017	75,02	28,41	17.846	2.095	1.497
2016	75,68	31,91	17.860	2.373	1.615
2015	76,77	33,40	17.879	2.298	1.530
2014	77,25	34,57	17.765	3.013	1.972
2013	90,50	31,66	17.231	2.875	1.961
2012	90,10	40,64	16.912	3.550	2.102
2011	86,60	35,41	16.390	3.591	2.005
2010	73,60	42,88	15.808	3.587	2.039
2009	74,00	39,61	15.079	3.170	1.913
2008	73,91	38,28	14.558	3.137	1.911
2007	75,41	36,95	14.141	2.992	1.858
2006	87,02	33,54	13.574	3.101	2.191
2005	98,23	17,64	13.341	2.724	2.116
2004	95,98	34,96	12.798	2.974	2.074
2003	94,61	40,35	12.401	3.242	2.043
2002	85,44	38,70	11.773	3.291	1.998
2001	86,10	37,05	11.378	3.190	1.915
<b>Média</b>	<b>83,31</b>	<b>35,06</b>	<b>15.102</b>	<b>3.011</b>	<b>1.926</b>

Fonte: A autoria própria (2019).

#### **4.1.2 Topografia**

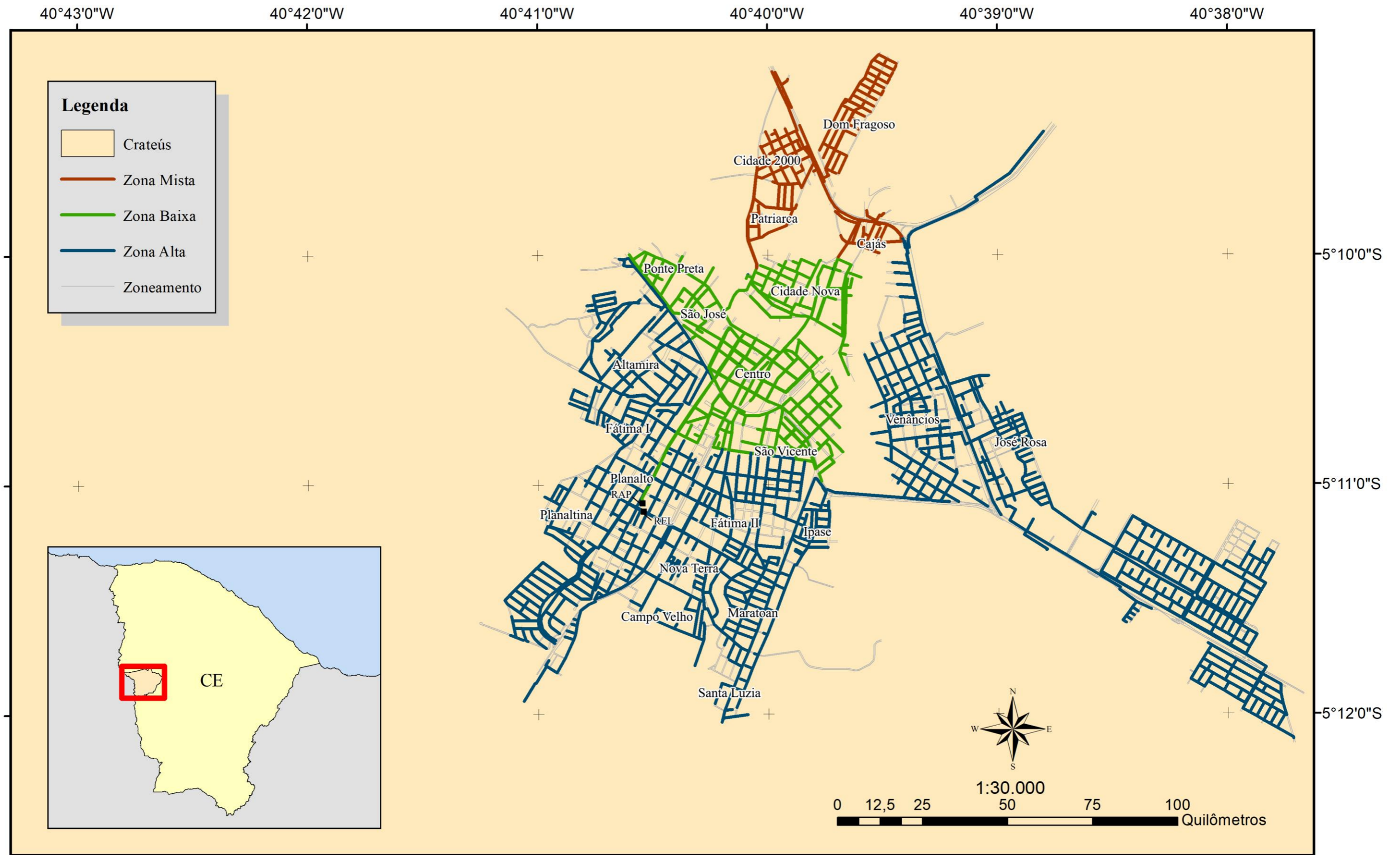
A área de estudo possui variações topográficas em torno de 40 metros, com altitudes iniciando em 268 metros até 310 metros, as variações podem ser observadas no Mapa 3.

Mapa 1- Rede de abastecimento de água do município de Crateús



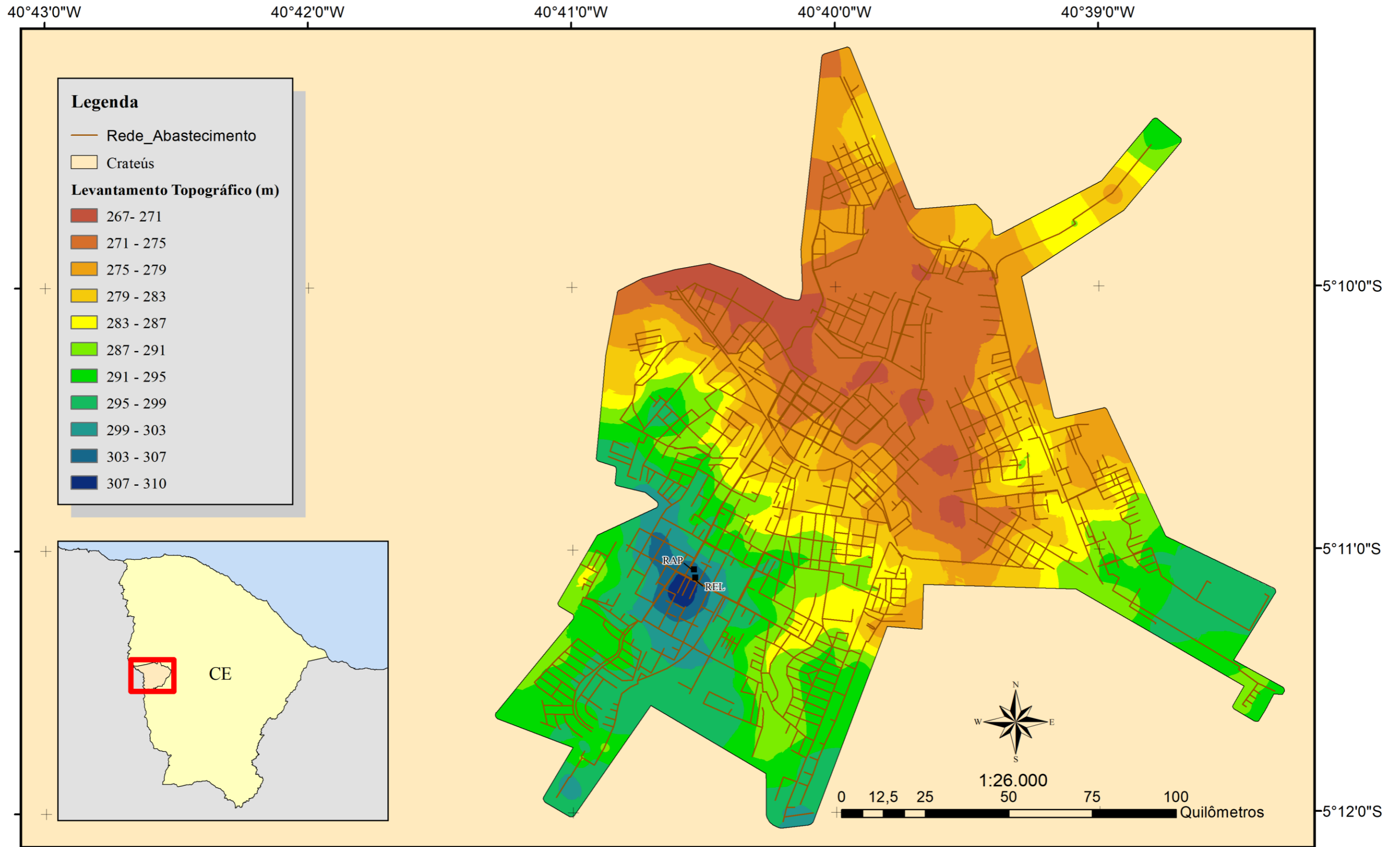
Fonte: Aatoria própria (2019).

Mapa 2 - Divisão da rede de abastecimento de água em zonas



Fonte: Autoria própria (2019).

Mapa 3 – Levantamento topográfico na região da rede de abastecimento de água do município de Crateús



Fonte: Autoria própria (2019).

### 4.1.3 Projeção populacional

Na Tabela 3, apresenta-se os dados populacionais utilizados para o cálculo da projeção populacional urbana.

Tabela 3- População Urbana de Crateús, IBGE– Censos 1991/2000/2010

<b>Ano</b>	<b>População Urbana (hab)</b>	<b>Taxa geométrica de crescimento anual (%)</b>
1991	39945	1,96
2000	47549	1,96
2010	52644	1,02

Fonte: IPECE (2018).

Analisando os dados apresentados na Tabela 3, nota-se que entre os anos de 1991 e de 2000 houve um aumento da população urbana do município, a uma taxa de 1,96%, em decorrência principalmente da migração da população rural para cidade e a taxa de natalidade. No ano de 2010, a população residente na área urbana aumentou a uma taxa de 1,02%.

A projeção populacional urbana realizada pelo método aritmético considerou um horizonte de planejamento de 20 anos. O cálculo prosseguiu conforme exposto no item 2.2.3.2. Dessa forma, as variáveis assumiram os seguintes valores:  $t_0=1991$ ;  $t_1=2000$ ;  $t_2=2010$ ;  $P_0=39945$ ;  $P_1=47549$ ;  $P_2=52644$  e  $K_a=668.37$ . Já para projeção geométrica, as variáveis de tempo e população assumem o mesmo valor da projeção aritmética e  $K_g=0,015$ . Assim, obtêm-se os valores demonstrados na Tabela 4.

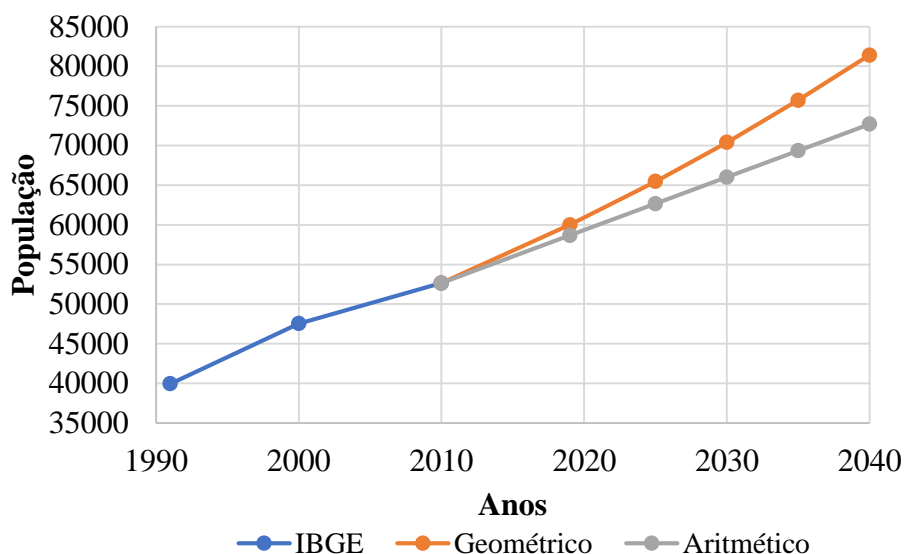
Tabela 4- População Urbana Projetada

<b>Ano</b>	<b>Projeção Aritmética (hab)</b>	<b>Projeção Geométrica (hab)</b>
2019	58659	59999
2025	62670	65464
2030	66011	70396
2035	69353	75700
2040	72695	81404

Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando os valores obtidos na Tabela 4, pode-se perceber uma diferença percentual entre os dois métodos de 2,23%, em 2019, chegando a 10,70% no último ano de análise. O Gráfico 1 apresenta os dados populacionais da Tabela 4 e os valores das projeções populacionais.

Gráfico 1- Projeção da população urbana



Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando o Gráfico 1, percebe-se através dos dados do IBGE, que a população urbana do município teve uma diminuição na taxa de crescimento nos últimos anos, assim, justifica-se a adoção do método aritmético, pois apresenta uma taxa de crescimento mais condizente com a realidade do município. A Tabela 5, mostra os valores obtidos no cálculo da projeção populacional e a estimativa da população atendida pela rede de abastecimento, uma vez que 99,96% da população é abastecida pela rede do município.

Tabela 5- População Urbana Projetada e Atendida

Ano	População Projetada (hab)	População Atendida (hab)
2019	58659	58636
2025	62670	62644
2030	66011	65985
2035	69353	69325
2040	72695	72666

Fonte: Autoria própria (2019).

#### 4.1.4 Demandas especiais

A Tabela 6 apresenta os vinte maiores consumidores do município e seus respectivos consumos mensais, tendo como referência os valores obtidos para o mês de setembro de 2019. Esses consumidores são os que apresentam consumo igual ou superior a 100 m<sup>3</sup>/ mês, sendo possíveis pontos de demandas especiais.



Tabela 6- Maiores consumidores

Posição	Consumo (L/s)	Posição	Consumo (L/s)
1°	0,253	11°	0,064
2°	0,125	12°	0,059
3°	0,117	13°	0,055
4°	0,115	14°	0,045
5°	0,108	15°	0,044
6°	0,087	16°	0,043
7°	0,081	17°	0,041
8°	0,074	18°	0,041
9°	0,072	19°	0,039
10°	0,069	20°	0,039
Total		1,570	

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo, com o consumo per capita do município e com a estimativa da população abastecida, o consumo total é de 101,8 L/s. Realizando uma análise comparativa do somatório dos vinte maiores consumidores com o consumo total da rede, tem-se que a soma corresponde apenas a 1,54% do valor total. Uma vez que essa porcentagem é pequena, justifica-se assim, a consideração do consumo da cidade como homogêneo para simulação hidráulica, ou seja, sem a utilização de pontos de demandas especiais.

## 4.2 Modelagem da rede

No Mapa 4 visualiza-se a modelagem da rede a ser analisada neste estudo, sendo composta por 1657 nós, 1922 trechos e com extensão de 156.178,68 metros. Como pode ser observado no mapa os reservatórios dos centros de reservação localizam-se na região mais central da cidade, a qual possui as maiores cotas topográficas da zona urbana. Desta forma, o abastecimento da rede modelada é inteiramente realizado por gravidade.

Na modelagem da rede está incluso algumas incertezas inerentes ao processo, entre elas, a estimativa populacional, desatualização do projeto, a consideração do consumo como homogêneo, desconsideração da localização e volume das perdas de água na distribuição e a diferença na rugosidade dos diferentes trechos devido ao envelhecimento dos condutos. As características básicas dos trechos da rede de abastecimento são expostas na Tabela 7.

Tabela 7- Características básicas da tubulação

<b>Material</b>	<b>DN</b>	<b>Rugosidade (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>
PVC	50	0,0015	106.839,57
PVC	75	0,0015	10.219,09
PVC	100	0,0015	6.055,97
PVC	125	0,0015	588,54
PVC	150	0,0015	1.550,11
PVC	160	0,0015	272,92
CA	50	0,025	8.684,3
CA	75	0,025	129,75
CA	100	0,025	472,69
CA	125	0,025	424,89
CA	150	0,025	1.384,59
CA	250	0,025	1.342,45
CA	350	0,025	1.226,95
DEFoFo	75	0,0015	90,99
DEFoFo	100	0,0015	1.158,41
DEFoFo	150	0,0015	6.397,55
DEFoFo	200	0,0015	3.408,99
DEFoFo	250	0,0015	3.482,59
DEFoFo	300	0,0015	1.971,56
FoFo	100	0,26	476,77
<b>Total</b>			<b>156.178,68</b>

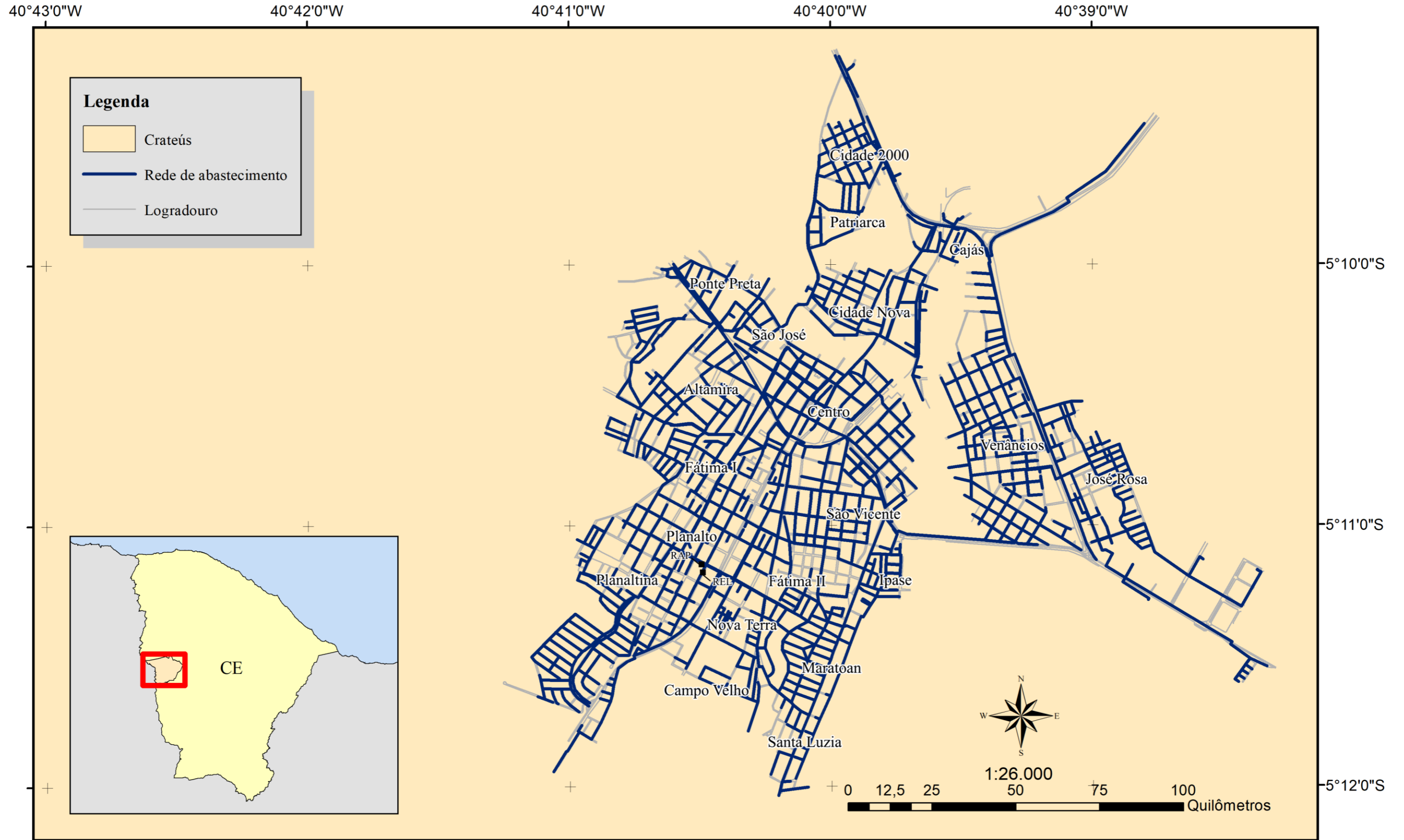
Fonte: Autoria própria (2019).

Constata-se a partir dos valores da Tabela 7, que aproximadamente 74% da rede é composta por tubulações de diâmetro nominal de 50 mm, sendo 68,4% de PVC e 5,6% de Cimento Amianto (CA). Além disso, 6,7% é constituída por tubulações de diâmetro nominal de 75 mm, no qual, 6,5% do material PVC, 0,1% de CA e PVC com diâmetro equivalente a FoFo (DEFoFo). Assim, cerca de 80,7% da rede é formada por tubulações de diâmetros inferiores a 100 mm.

As tubulações de diâmetro nominal de 100 mm, compõe por volta de 5,2%, sendo 3,9% dos trechos compostos por PVC, 0,3% de CA, 0,7% de DEFoFo e 0,3% de Ferro Fundido (FoFo). Uma pequena parcela da rede é constituída de trechos de diâmetro de 125 mm e 160 mm, correspondendo respectivamente a 0,7% e 0,2%.

Os trechos de diâmetro de 150 mm, correspondem a mais 6,0% da rede modelada, dividido em 1,0% de PVC, 0,9% de CA e 4,1% de DEFoFo. Em torno de 7,3% da rede possui tubulações com trechos de diâmetro superior ou igual a 200 mm, no qual, 5,7% do material DEFoFo e 1,6% de CA.

Mapa 4 – Modelagem da rede de abastecimento de água do município de Crateús



Fonte: Aatoria própria (2019).

### 4.3 Validação da rede

A validação da modelagem pode ser verificada por meio da análise dos valores dos pontos de pressões observadas *in loco* comparando com os resultados gerados por meio da simulação hidráulica do cenário 2019 para condições médias de abastecimento. Sendo assim, a simulação foi realizada considerando o funcionamento da rede para o consumo médio, atendendo 58.636 habitantes com consumo per capita de 150 l/hab/dia.

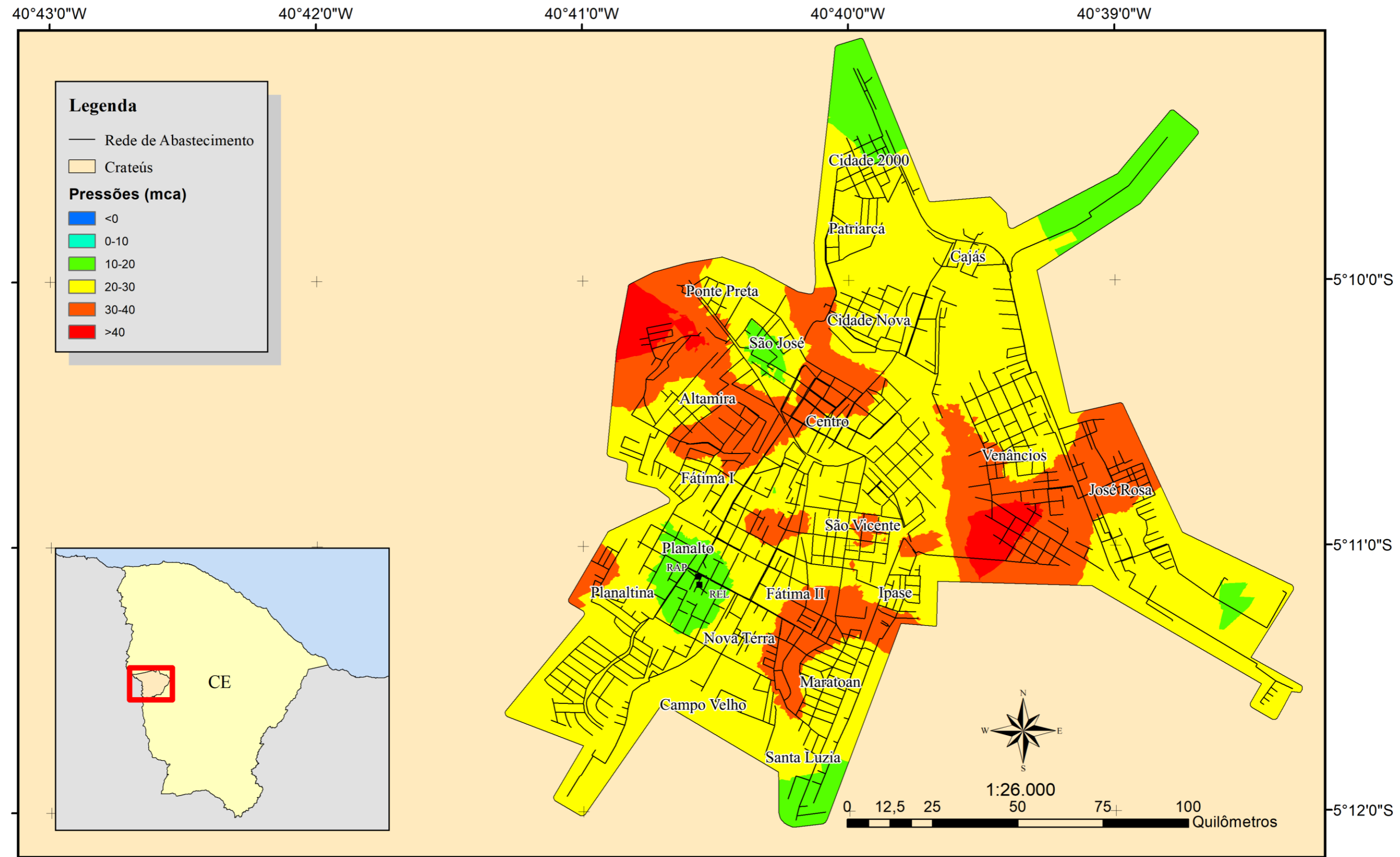
Mediante a análise do Mapa 5, verifica-se que a maior parte dos nós apresentaram pressões que respeitam os parâmetros de limites estabelecidos em norma. Este cenário não possui nenhum ponto com intermitência no abastecimento, ou seja, pontos com pressões negativas.

As regiões em vermelho Mapa 5, representam pontos de pressões superiores a 40 metros de coluna de água (mca). Nota-se, que os bairros Altamira e Venâncios possuem regiões com pressões superiores a 40 mca, apresentando máxima de 45,44 mca para o bairro da Altamira. Dessa forma, ainda estão de acordo com o limite máximo para pressão estática estabelecido em norma, mantendo pressões inferiores a 50 mca. Avaliando o atendimento ao limite mínimo de 10 mca, observa-se no mapa que não houve regiões de concentração de nós com pressões inferiores.

O cenário apresentou 1.173.867 m<sup>2</sup> de área com pressões dentro do intervalo de 10 a 20 mca, 8.418.473 m<sup>2</sup> para pressões de 20 a 30 mca, 2.807.627 m<sup>2</sup> no intervalo de 30 a 40 mca e 333.400 m<sup>2</sup> para pressões superiores à 40 mca. Caracterizando assim em, 9,22%, 66,11%, 22,05% e 2,62% da área total da delimitação do estudo, respectivamente.

Avaliando o parâmetro de perda de carga, tem-se que 108 trechos apresentam perdas de carga superiores ao limite de 0,008 m/m ou 8 m/km, estabelecido em norma. Os comprimentos desses trechos correspondem a 5,28% do comprimento total da modelagem, sendo 5,06% de diâmetro nominal de 50 mm, 0,05% de 75 mm e 0,16% de 100 mm. Ressalta-se que nenhum dos trechos possuem velocidade superior ao limite de 3,5 m/s, estabelecido por norma.

Mapa 5 – Distribuição de pressões hidráulicas para o consumo médio do ano de 2019



Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela A.1 (Apêndice A) apresenta as pressões calculadas e observadas com suas respectivas diferenças e suas localizações. A análise de frequência e porcentagem do resultado está exposta na Tabela 8.

Tabela 8- Frequência e porcentagem da diferença entre pressões calculada e observada.

<b>Classe</b>	<b>Intervalo de Classe (mca)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Porcentagem</b>
1	- 6  — -4	5	4%
2	-4  — -2	7	6%
3	-2  — 0	23	20%
4	0  — 2	35	30%
5	2  — 4	27	23%
6	4  — 6	13	11%
7	6  — 8	6	5%
<b>Total</b>		<b>116</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com a Tabela 8, nota-se que as classes 3, 4 e 5 apresentam as maiores frequências, as mesmas estão entre as classes que apresentam as menores diferenças entre as pressões, somando um total de 73% dos dados avaliados e em junção com a classe 2, que também está entre as classes com menores variações, representam 80% dos dados. Já as classes 1, 6 e 7, apresentam as menores frequências e a as maiores diferenças, somando um total de 20%.

As regiões que estão nas classes de menores diferenças são do bairro José Rosa, Planaltina, Cajás, Fátima I, Ipase e algumas regiões do Venâncios e São Vicente. Já o bairro Cidade 2000 e algumas regiões do Venâncios e São Vicente apresentaram diferenças maiores. Os demais bairros presentes na modelagem não possuem pontos com dados de pressões observadas. Levando em consideração as incertezas embutidas na modelagem e no horário das medições de pressões, a análise da distribuição de frequência, apresentou variações aceitáveis, assim, o modelo está validado relativamente à pressão.

#### 4.4 Cenalização hidráulica

As análises das simulações hidráulicas foram realizadas de acordo com a NBR 12.218:2017 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público e as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece.

#### **4.4.1 Cenário 2019**

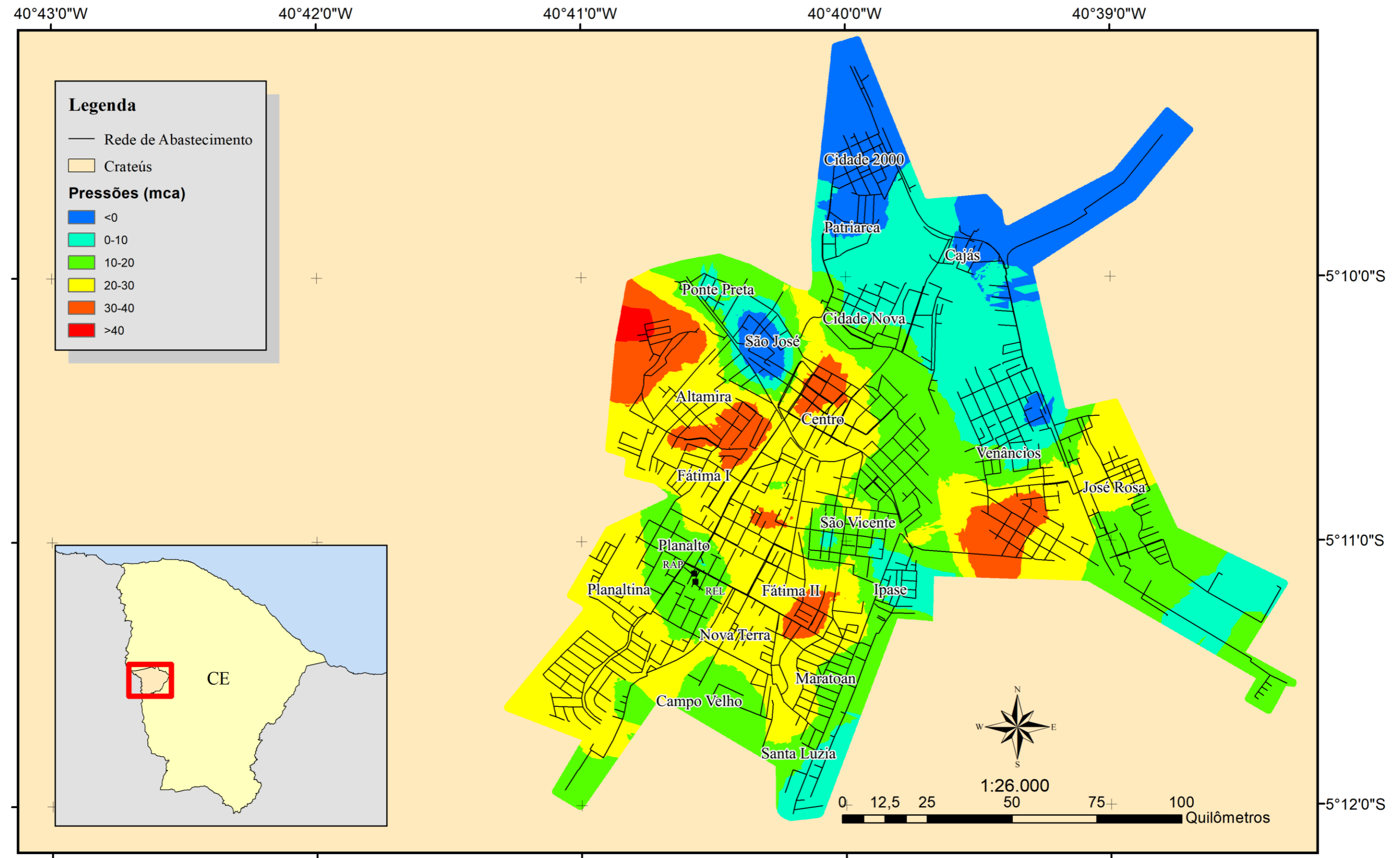
A simulação do cenário 2019 foi realizada considerando o funcionamento da rede para o dia de maior consumo e hora de maior consumo, atendendo 58.636 habitantes com consumo per capita de 150 l/hab/dia. Conforme o Mapa 6, verifica-se que há ocorrência de regiões com valores de pressões fora dos parâmetros de limites estabelecidos em norma. Nota-se, que o bairro Altamira apresenta uma região com pressões superiores a 40 mca, apresentando máxima de 43,85 mca. Dessa forma, ainda está de acordo com o limite máximo para pressão estática estabelecido em norma, mantendo pressões inferiores a 50 mca.

Analisando o atendimento ao limite mínimo para pressão dinâmica (10 mca), tem-se que as regiões do bairro São José, Ponte Preta, Patriarca, Cidade Nova, Cajás, Venâncios, José Rosa, Ipase, São Vicente e Santa Luzia não atendem ao critério. As regiões em azul escuro no Mapa 6, representam os pontos de pressões negativas. Nesses locais ocorre a intermitência no abastecimento de água. Essas regiões estão localizadas no bairro São José, Patriarca, Cidade 2000, Cajás e Venâncios.

Em resumo, o cenário apresentou 1.382.680 m<sup>2</sup> com pressões negativas, 2.485.967 m<sup>2</sup> com pressões no intervalo de 0 a 10 mca, 3.533.301 m<sup>2</sup> de área com pressões de 10 a 20 mca, 4.340.822 m<sup>2</sup> para o intervalo de 20 a 30 mca, 936.3567 m<sup>2</sup> no intervalo de 30 a 40 mca e 54.220 m<sup>2</sup> para pressões superiores à 40 mca. Correspondendo assim em, 10,86%, 19,52%, 27,75%, 34,09%, 7,35% e 0,43% da área total da delimitação do estudo, respectivamente.

Analisando o parâmetro de perda de carga, o cenário em questão apresenta 280 trechos com perdas de carga superiores ao limite. Esses trechos correspondem a 13,70% do comprimento total da modelagem, no qual, 12,50% de diâmetro nominal de 50 mm, 0,8% de 75 mm e 0,40% de 100 mm. Salienta-se que nenhum dos trechos possuem velocidade superior ao limite de 3,5 m/s.

Mapa 6 - Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2019



Fonte: Aatoria própria (2019).



#### 4.4.2 Cenário 2025

O cenário 2025 foi simulado considerando o funcionamento da rede para o dia de maior consumo e hora de maior consumo, atendendo 62.644 habitantes com consumo per capita de 150 l/hab/dia. Nota-se, que o bairro Altamira apresenta uma pequena região com pressões superiores a 40 mca, apresentando máxima de 43,54 mca, assim, atendendo ao limite máximo para pressão estática estabelecido em norma.

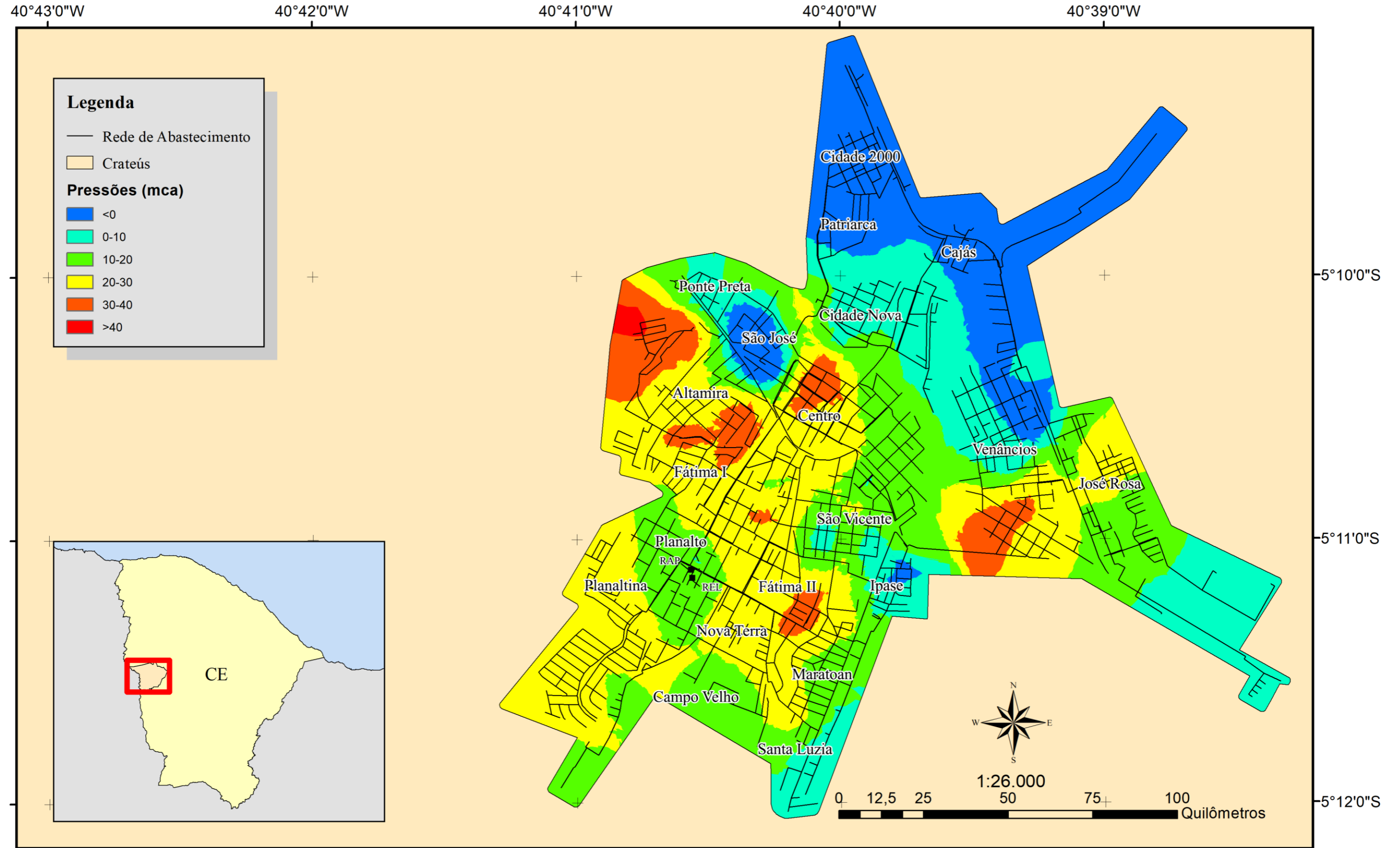
Observa-se que o limite mínimo para pressão dinâmica de 10 mca não é atendido em algumas regiões do bairro São José, Ponte Preta, Altamira, Patriarca, Cidade Nova, Venâncios, José Rosa, Ipase, São Vicente e Santa Luzia. A intermitência do abastecimento (pressões negativas) ocorre em algumas regiões, localizadas no bairro São José, Patriarca, Altamira, Cidade 2000, Cajás, Venâncios e Ipase.

Em geral, o cenário apresentou 2.200.406 m<sup>2</sup> com pressões negativas, 2.416.361 m<sup>2</sup> com pressões no intervalo de 0 a 10 mca, 3.335.341 m<sup>2</sup> de área com pressões de 10 a 20 mca, 3.942.724 m<sup>2</sup> para o intervalo de 20 a 30 mca, 797.481 m<sup>2</sup> no intervalo de 30 a 40 mca e 41.034 m<sup>2</sup> para pressões superiores à 40 mca. Equivalendo assim em, 17,28%, 18,98%, 26,91%, 30,96%, 6,26% e 0,32% da área total da delimitação do estudo, respectivamente.

De acordo com o limite estabelecido para o parâmetro de perda de carga, observa-se que 300 trechos apresentam perdas de carga superiores ao limite. Os comprimentos desses trechos correspondem a 14,61% do comprimento total da modelagem, sendo 13,34% de diâmetro nominal de 50 mm, 0,81% de 75 mm, 0,45% de 100 mm e 0,01% de 300 mm.

Vale salientar, que o trecho de diâmetro de 300 mm é referente a tubulação de saída do reservatório, sendo assim, servindo de passagem para uma vazão muito grande, proporcionando uma grande dissipação de energia, e consequente um alto valor de perda de carga. Este cenário não possui nenhum dos trechos com velocidade superior ao limite de 3,5 m/s.

Mapa 7 - Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2025



Fonte: Aatoria própria (2019).

#### 4.4.3 Cenário 2030

Para o cenário 2030 realizou-se a simulação hidráulica considerando o funcionamento da rede para o dia de maior consumo e hora de maior consumo, atendendo 65.985 habitantes com consumo per capita de 150 l/hab/dia. Através do Mapa 8, observa-se a ocorrência de regiões com valores de pressões fora dos parâmetros de limites estabelecidos em norma. Uma pequena região do bairro Altamira apresenta pressões superiores a 40 mca, apresentando máxima de 43,27 mca, assim, atendendo o limite máximo para pressão estática estabelecido em norma.

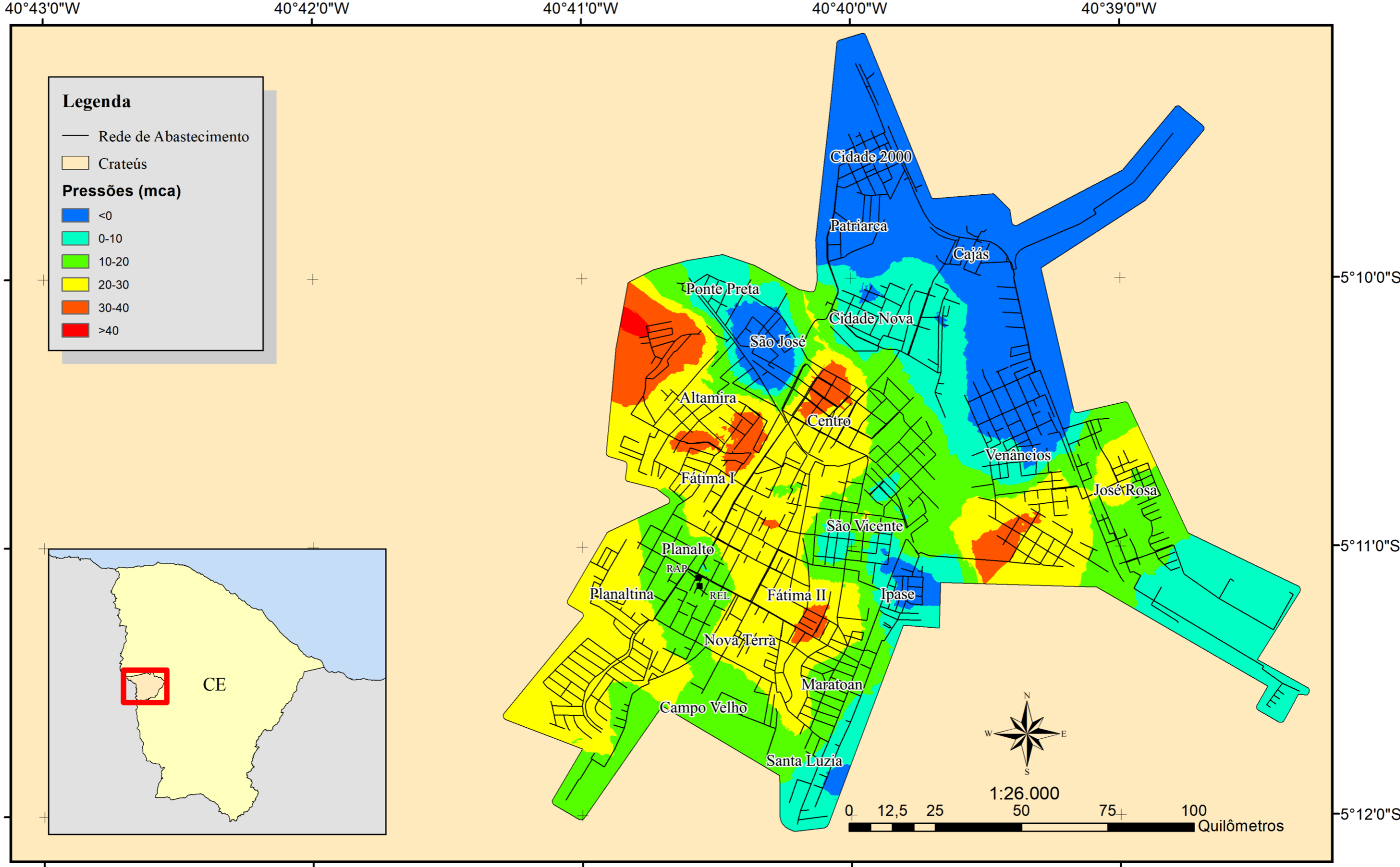
As regiões do bairro São José, Ponte Preta, Altamira, Cidade Nova, Venâncios, José Rosa, São Vicente, Ipase, São Vicente, Maratoan e Santa Luzia, apresentam pressões inferiores ao limite mínimo para pressão dinâmica estabelecido por norma (10 mca). Já avaliando a intermitência do abastecimento (pressões negativas), os trechos localizados em regiões do bairro São José, Ponte Preta, Patriarca, Altamira, Cidade 2000, Cajás, Venâncios, Ipase e Santa Luzia.

Para esse cenário pode-se observar 2.739.717 m<sup>2</sup> de pressões negativas, 2.357.991 m<sup>2</sup> com pressões no intervalo de 0 a 10 mca, 3.245.276 m<sup>2</sup> de área com pressões de 10 a 20 mca, 3.702.957 m<sup>2</sup> para o intervalo de 20 a 30 mca, 660.312 m<sup>2</sup> no intervalo de 30 a 40 mca e 27.094 m<sup>2</sup> para pressões superiores à 40 mca. Correspondendo assim em, 21,52%, 18,52%, 25,49%, 29,08%, 5,19% e 0,21% da área total da delimitação do estudo, respectivamente.

Tem-se trechos com perdas de carga superiores ao limite, totalizando 316 trechos. Esses trechos correspondem a 16,03% do comprimento total da modelagem, no qual, 13,98% possuem diâmetro nominal de 50 mm, 1,01% de 75 mm, 0,54% de 100 mm, 0,49% de 200 mm e 0,01% de 300 mm. Ressalta-se, que os trechos de diâmetro de 200 mm correspondem as tubulações troncos que passam a vazão responsável por abastecer as regiões do bairro Venâncios, José Rosa e parte do bairro Cajás, Cidade 2000 e Patriarca.

O trecho de diâmetro de 300 mm é referente a tubulação de saída do reservatório. Dessa forma, os trechos de diâmetro de 200 e 300 mm possuem vazão muito grande, gerando uma grande dissipação de energia, e por consequência um alto valor de perda de carga. Assim como nos demais cenários já citados, nenhum dos trechos possuem velocidade superior ao limite de 3,5 m/s.

Mapa 8 - Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2030



Fonte: Aatoria própria (2019).

#### **4.4.4 Cenário 2035**

A simulação do cenário 2035 foi realizada considerando o funcionamento da rede para o dia de maior consumo e hora de maior consumo, atendendo 69.325 habitantes com consumo per capita de 150 l/hab/dia. Conforme a análise do Mapa 9, observa-se regiões com valores de pressões fora dos parâmetros de limites estabelecidos em norma. Nenhuma das regiões apresentam pressão estática superior ao limite máximo, mantendo pressões inferiores a 50 mca.

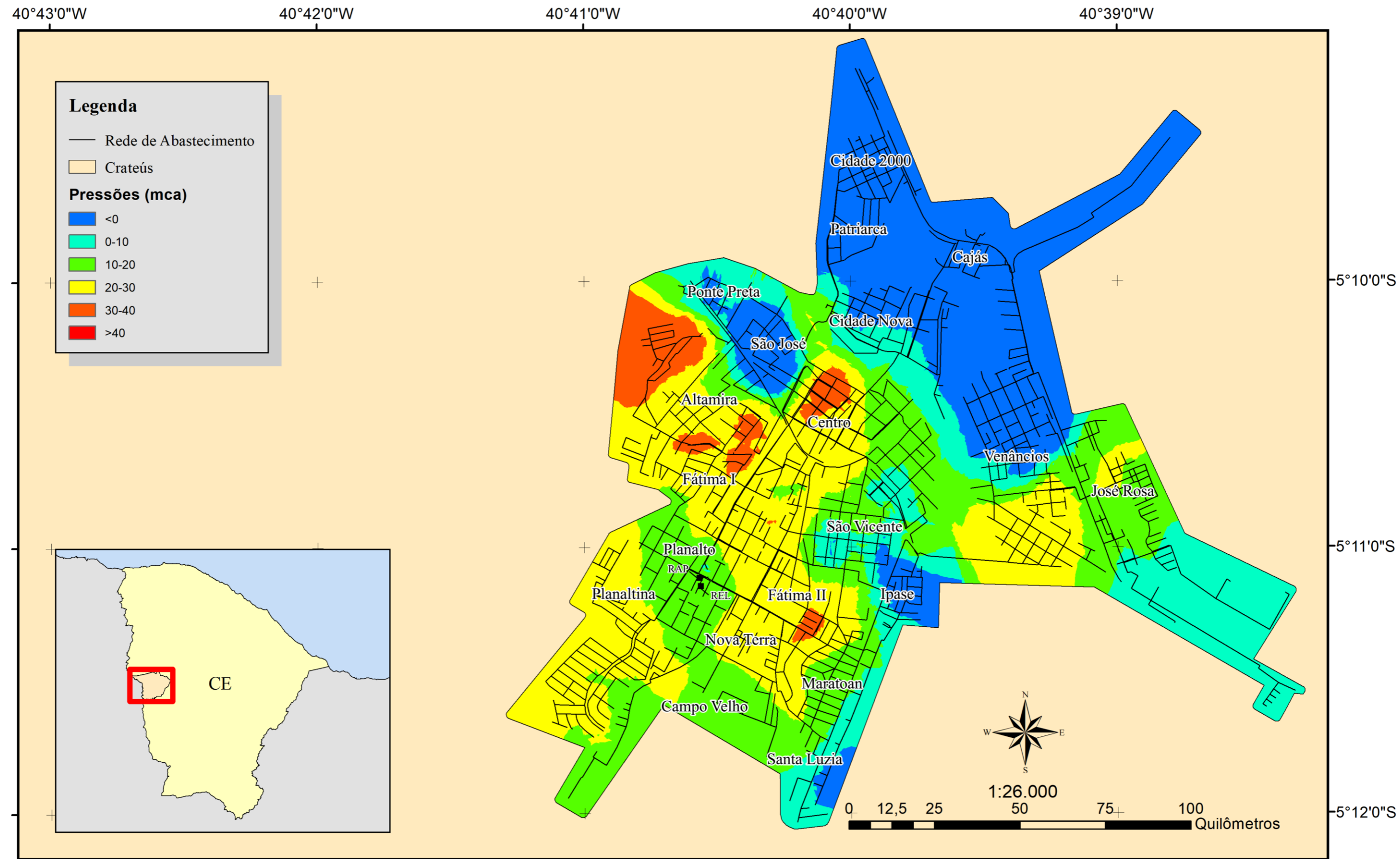
As regiões do bairro São José, Ponte Preta, Altamira, Cidade Nova, Venâncios, José Rosa, Ipase, São Vicente, Maratoan e Santa Luzia, apresentam pontos com pressões dinâmicas inferiores ao limite mínimo de 10 mca. Visualiza-se uma vasta região com a intermitência do abastecimento (pressões negativas), sendo localizadas no bairro São José, Ponte Petra, Altamira, Cidade Nova, Patriarca, Cidade 2000, Cajás, Venâncios, São Vicente, Ipase e Santa Luzia.

Em geral, o cenário apresentou 3.430.523 m<sup>2</sup> com pressões negativas, 2.131.528 m<sup>2</sup> com pressões no intervalo de 0 a 10 mca, 3.140.816 m<sup>2</sup> de área com pressões de 10 a 20 mca, 3.510.367 m<sup>2</sup> para o intervalo de 20 a 30 mca, 520.113 m<sup>2</sup> no intervalo de 30 a 40 mca. Equivalendo assim em, 26,94%, 16,74%, 24,67%, 27,57% e 4,08% da área total da delimitação do estudo, respectivamente.

Avaliando os trechos com perdas de carga superiores ao limite de 8 m/km, observa-se 336 trechos que não atendem ao limite. Os comprimentos desses trechos correspondem a 16,83% do comprimento total da modelagem, sendo 14,71% de diâmetro nominal de 50 mm, 1,01% de 75 mm, 0,54% de 100 mm, 0,49% de 200 mm, 0,06% de 250 mm e 0,01% de 300 mm.

Assim como nos cenários anteriores, os trechos de tubulações com diâmetro nominal superior a 100 mm, apresentam perda de carga elevada devido se localizarem próximos ao reservatório ou por serem trechos principais para o abastecimento de algumas regiões. Ressalta-se que nenhum dos trechos possui velocidade superior ao limite de 3,5 m/s.

Mapa 9 - Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2035



Fonte: Aatoria própria (2019).

#### 4.4.5 Cenário 2040

O cenário 2040 foi simulado considerando o funcionamento da rede para o dia de maior consumo e hora de maior consumo, atendendo 72.666 habitantes com consumo per capita de 150l/hab/dia. Através da análise do Mapa 10, visualiza-se regiões com valores de pressões fora dos parâmetros de limites estabelecidos em norma. Nenhuma dos nós apresentam pressões superiores ao limite máximo para pressão estática, mantendo pressões inferiores a 50 mca.

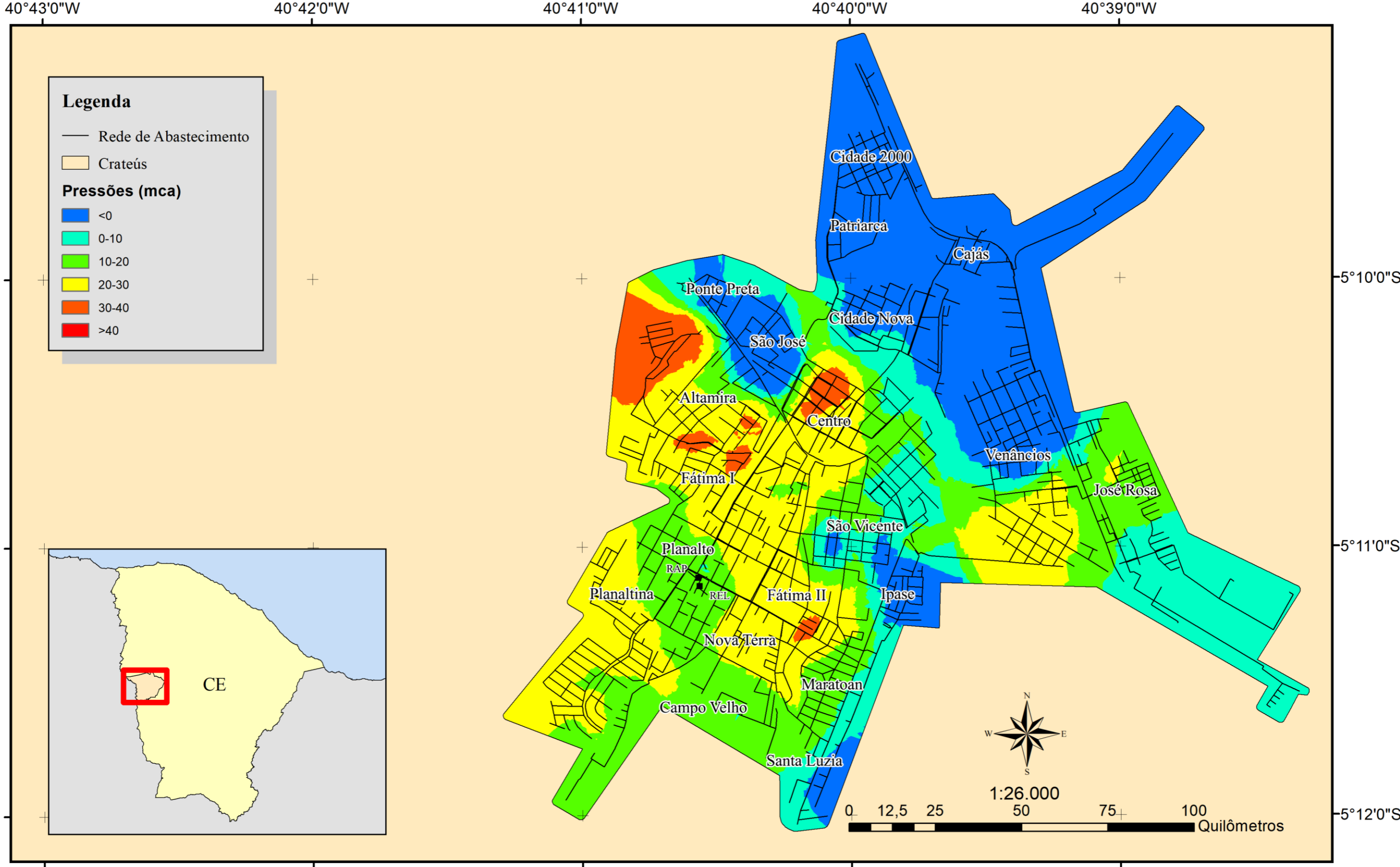
Como pode ser observado no Mapa 10, as regiões do bairro São José, Ponte Preta, Altamira, Cidade Nova, Centro, Venâncios, José Rosa, Ipase, São Vicente, Maratoan e Santa Luzia, apresentam pontos com pressões dinâmicas inferiores ao limite mínimo (10 mca). Uma grande região com ocorrência de intermitência no abastecimento (pressões negativas), essas regiões estão localizadas no bairro São José, Ponte Petra, Altamira, Cidade Nova, Patriarca, Cidade 2000, Cajás, Venâncios, São Vicente, Ipase e Santa Luzia.

O cenário é composto por 3.769.794 m<sup>2</sup> com pressões negativas, 2.302.283 m<sup>2</sup> com pressões no intervalo de 0 a 10 mca, 2.968.665 m<sup>2</sup> de área com pressões de 10 a 20 mca, 3.235.249 m<sup>2</sup> para o intervalo de 20 a 30 mca, 457.356 m<sup>2</sup> no intervalo de 30 a 40 mca. Equivalendo assim em, 29,61%, 18,08%, 23,31%, 25,41% e 3,59% da área total da delimitação do estudo, respectivamente.

Neste cenário os trechos com perdas de carga superiores ao limite totalizam 356 trechos fora do valor estabelecido em norma (8 m/km). Esses trechos correspondem a 17,71% do comprimento total da modelagem, sendo 15,01% de diâmetro nominal de 50 mm, 1,08% de 75 mm, 0,91% de 100 mm, 0,14% de 150 mm, 0,49% de 200 mm, 0,06% de 250 mm e 0,01% de 300 mm.

Ressalta-se, que os trechos de diâmetro de 150 mm correspondem as tubulações troncos responsável por transportar a água do bairro Venâncios para o abastecimento do bairro José Rosa. As demais tubulações troncos que apresentaram valores superiores são as mesmas já explicadas nos cenários anteriores. Este cenário apresenta seis trechos com velocidade superior ao limite de 3,5 m/s, em comprimento esses trechos equivalem a 0,10% do comprimento total, evidencia-se que os mesmos possuem diâmetro nominal igual a 50 mm.

Mapa 10 - Distribuição de pressões hidráulicas para o ano de 2040



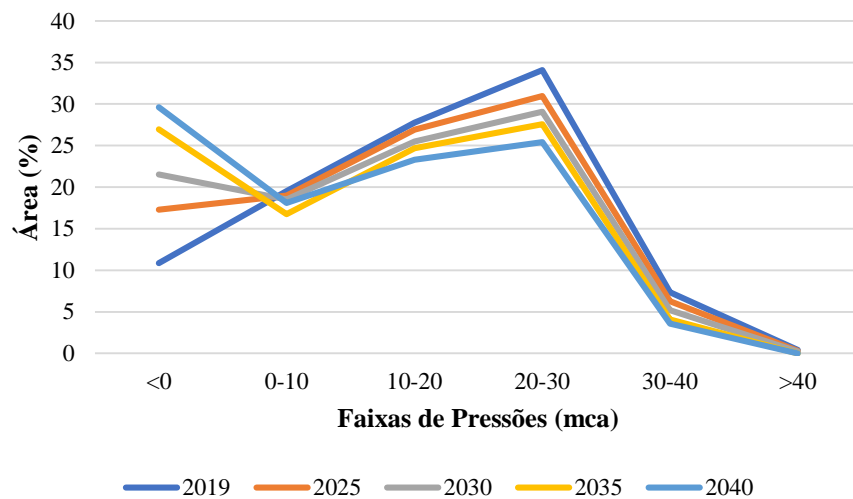
Fonte: Autoria própria (2019).



#### 4.4.6 Síntese dos resultados

No Gráfico 2, observa-se os valores em porcentagem da área correspondente a cada faixa de pressão, para seus respectivos cenários.

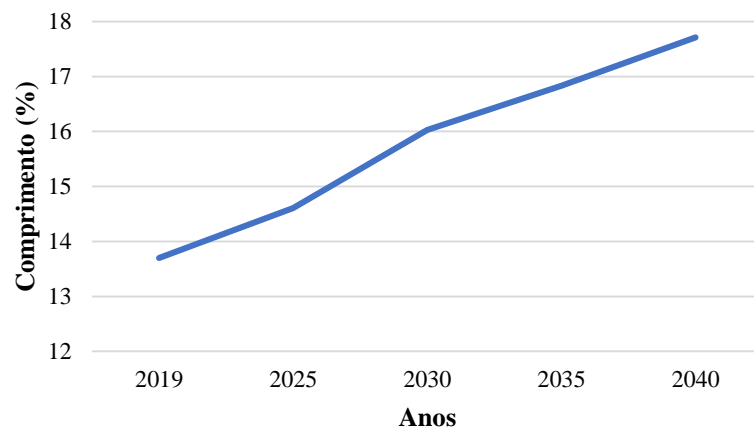
Gráfico 2- Faixas de pressões para cada ano e suas respectivas porcentagem de áreas



Fonte: Autoria própria (2019).

Através do gráfico, percebe-se o agravamento dos valores de acordo com o passar dos anos. Houve o aumento das regiões com pressões negativas, representando assim aumento da área com intermitência no abastecimento, e por consequência a diminuição das regiões com pressões dentro dos limites estabelecido em norma. Por fim, através da análise do Gráfico 3, tem-se o aumento gradativo da porcentagem do comprimento dos trechos que apresentam perda de carga superiores ao limite estabelecido na norma técnica da Cagece de acordo com o passar dos anos.

Gráfico 3- Comprimento dos trechos com perda de carga superior ao limite



Fonte: Autoria própria (2019).

## 5 CONCLUSÃO

Diante da análise dos resultados tem-se que o modelo da rede de abastecimento de água do município de Crateús-CE, elaborado neste estudo, representa bem a realidade diante das incertezas envolvidas no processo de modelagem e da ausência de dados essenciais para execução da calibração do mesmo (dados de vazão e pressão em um ponto e instante de tempo determinado). Assim, o modelo pode ser utilizado como ferramenta para a gestão operacional da rede.

Através da simulação hidráulica utilizada para o processo de validação, tem-se que a rede atende de forma satisfatória os consumos médios de abastecimento, os limites de pressões e velocidade estabelecidos pela NBR 12.218:2017. No entanto, para o limite máximo estabelecido para o parâmetro de perda de carga, 5,38% do comprimento total encontra-se em desacordo com as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece.

As simulações hidráulicas realizadas nas cenarizações para a análise do funcionamento da rede para o atendimento das demandas na hora e dia de maior consumo, demonstram que a rede do município não está preparada para atender demandas superiores ao consumo médio, apresentando regiões com intermitência no abastecimento e pressões inferiores ao estabelecido em norma, além de trechos com perda de carga superiores ao limite, com agravamento dos valores de acordo com o passar dos anos.

No cenário de 2019, tem-se que cerca de 10,86% da área do município apresentam intermitência no abastecimento, 19,52% está com pressões inferiores ao preconizado em norma e 13,70% do comprimento total com perda de carga superiores ao limite. Chegando ao cenário de 2040 com valores de 29,61%, 18,08% e 17,71%, para a intermitência no abastecimento, as pressões inferiores e a perda de carga superiores ao limite, respectivamente. Além disso, no cenário de 2040 a rede apresentou 0,10% do comprimento total com velocidades superiores.

Por fim, conclui-se que a atual rede de abastecimento de água do município de Crateús carece de atualizações, a fim de atender aos limites de estabelecidos pela NBR 12.218:2017 e as Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Cagece e assim atender de forma plena as possíveis variações no consumo. Dessa forma, com a finalidade de aprimorar os estudos da rede de abastecimento do município de Crateús, recomenda-se como trabalhos futuros:

- > Realização de monitoramento de vazão e pressão em diferentes trechos da rede,

- a fim de possibilitar a calibração do modelo da rede de distribuição;
- > Elaboração e Implementação de plano de monitoramento permanente;
  - > Desenvolvimento de estudo voltado a otimização operacional da rede atual de abastecimento por meio da realização de setorização, buscando uma distribuição mais equitativa e eficiente dos recursos hídricos;
  - > Realização de estudo para identificação e controle de perdas de água;
  - > Elaboração de plano de gestão operacional, com ênfase para o período de seca, voltado para ações de mitigação e gatilhos de tomadas de decisões.

## REFERÊNCIAS

- ALEGRE, Helena; COELHO, Sérgio Teixeira; ALMEIDA, Maria do Céu; VIERIRA, Paula. **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição**. [S.l.]: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- AZAVEDO NETTO, José Martiniano; FERNÁNDEZ, Miguel Fernádes y; ARAUJO, Roberto de; ITO, Acácio Eiji. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 2018.
- BAPTISTA, Mácio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.
- BARRETO, Gilberto Caldeira, *et al.* Impacto da setorização no abastecimento de água em áreas urbanas. In: **VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água**, 4., 2006. João Pessoa, 2006.
- BARROSO, Lidiane Bittencourt; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. Redução de vazamentos em um setor de distribuição de água de Santa Maria-RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 27-36, 2010.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018**: informe anual / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012**/ Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília: SNS/MDR, 2019.
- BUREK, Peter, *et al.* **Water futures and solution-fast track initiative**. Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 2016.
- CARVALHO, Otamar. As secas e seus impactos. In: **A questão da água no Nordeste**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas. Brasília: CGEE, 2012.
- CASTRO, Marco Aurélio Holanda de. Uso conjunto do Autocad e do Epanet para projeto, simulação e dimensionamento de redes de abastecimento de água. In: **IV SEREA-Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água**, 4., 2006. João Pessoa, 2006.
- COELHO, Sérgio Teixeira; ALEGRE, Helena; LOUREIRO, Dália. **Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água**. [S.l.]: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, 2006.
- COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. **Normas técnicas para projetos de**

**sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário Cagece.** Fortaleza: Governo do Estado do Ceará Secretaria das Cidades, 2010.

CORREIA, Rosália Filipa Soares. **Modelação e Análise do Sistema de Abastecimento de Água na Freguesia de Duas Igrejas do Concelho de Penafiel.** 2012. 128f. Dissertação (Mestre) Engenharia e Gestão Ambiental. Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2012.

COSTA, Magno Gonçalves da; DE CASTRO, Marco Aurélio Holanda. Uma interface de pré-processamento para o Epanet utilizando o AutoCAD: o programa UFC2. *In: IV SEREA-Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água*, 4., 2006. João Pessoa, 2006.

FAIR, Gordon Maskew; GEYER, John Charles; OKUN, Daniel Alexander. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales: **Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.** v. 2. México: Editorial Limusa, 1973.

FIGUEIREDO, Manuel Maria Pacheco. Modelação numérica de perdas reais de água em redes de distribuição. *In: Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*, 7., 2012. [S.l.]: FEUP, 2012.

FONTANA, Marcele Elisa. **Modelo de setorização para manobra em rede de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras.** 2012. 101f. Tese (Doutorado). Engenharia de Produção. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

FREIRE, Mariana Rivera. **Modelo para a setorização de redes de distribuição de água.** 2017. 111f. Dissertação (Mestrado). Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

GOMES, Heber Pimentel, *et al.* Setorização e Reabilitação das Redes de Abastecimento de Água das Cidades de João Pessoa e Cabedelo. *In: XV SEREA-Seminário Iberoamericano de Redes de Água*, 4., 2017. Colômbia, 2017.

GOUVEIA, Roberta Macêdo Marques. **Modelo computacional de otimização para dimensionamento de redes de distribuição de água abastecidas por múltiplos bombeamentos.** 2012. 187f. Tese (Doutorado). Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2012.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano.** v.1. 3.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

IGLESIAS-REY, Pedro L., *et al.* Combining engineering judgment and an optimization model to increase hydraulic and energy efficiency in water distribution networks. [S.l.]: **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 5, 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil Municipal 2017 Crateús.** Fortaleza: IPECE, 2018.

ISHIHARA, Júnior Hiroyuki, *et al.* Avaliação de métodos de dimensionamento de rede de abastecimento de água e estudo das condições de saneamento do bairro Novo Horizonte em Barcarena-PA. Belém: **Revista Traços**, v. 11, n. 24, p. 61-73, 2009.

KONCAGÜL, Engin, *et al.* **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017**. Programa Mundial das Nações Unidas para Avaliação do Recurso Hídricos. Gabinete do Programa de Avaliação Global da Água. Divisão de Ciências Hídricas. 2017.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública - RAP**, Rio de Janeiro, 2011, v. 45, n. 2, p. 331-348.

MELO, Éverson Gardel de; PRESTES, João Carlos. Setorização como ferramenta para o abastecimento pleno e eficiente. *In: Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE – Alternativas de financiamentos para saneamento público*, 48., 2018. Fortaleza, 2018.

MOREIRA, Tiago Orlando Morais. **Gestão de perdas em redes de abastecimento de água - assistida pelo simulador EPANET**. 2011. 201f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Porto, 2011.

MOURA, Eulina Maria, *et al.* Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas. *In: IV SEREA-Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água*, 4., 2004. João Pessoa, 2004.

NEVES, Mário Valente; LEITE, Simão. Utilização do simulador Epanet no estudo de sistemas prediais de abastecimento de água. *In: Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*, 3., 2008. [S.l.]: FEUP, 2008.

PEREIRA, Manoel Felipe Araujo; SALES, Lindolfo Neto de Oliveira; MEDEIROS, Djalma Mariz. Modelagem hidráulica computacional como ferramenta de gestão para sistemas de abastecimento de água. *In: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente*, 29., 2018. São Paulo, 2018.

PEREIRA JUNIOR, Moacir Muniz Pereira; BARBOSA, Andréa Teresa Riccio. **Comparação da potência em excesso para abastecimento por rede bombeada e por gravidade**. *In: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente*, 29., 2018. São Paulo, 2018.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

RAMESH, H.; SANTHOSH, L.; JAGADEESH, C. J. Simulation of hydraulic parameters in water distribution network using EPANET and GIS. *In: International Conference on Ecological Environmental and Biological Sciences (ICEEBS'2012)*. Dubai, 2012.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2011.

ROESCH, Sylvia Azevedo. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

ROSSIGNEUX, Nanci Veriane Quintas; FERNANDES, Cristovão Vicente Scapulatempo. Estabelecendo a importância relativa do controle de perdas em redes de distribuição de água – o exemplo de uma rede hipotética. *In: IV SEREA - Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água*, 4., 2006. João Pessoa, 2006.

ROSSMAN, Lewis A., *et al.* **EPANET 2 users manual**. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 2000.

SILVA, Carlos Henrique R. Tomé. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil**. *In: Boletim Do Legislativo Nº 23*, de 2012. Brasília: Senado Federal, 2012.

SILVA, Cleyton Oliveira da. **Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas**. 2014. 99f. Dissertação (Mestrado). Engenharia Urbana e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SOARES, Alexandre Kepler, *et al.* Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso. **Eng. Sanit. Ambiental**. v. 9, n. 4, p.312-321, 2004.

TELES, Elvilson Pires Sá. Estudo para otimização do sistema de abastecimento de água de São Cristovão com o EPANET. *In: Congresso ABES FENASAN*, 2017.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária da escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

## APÊNDICE A- DADOS DE VALIDAÇÃO DA MODELAGEM

Tabela A. 1- Diferença entre pressões calculadas e observadas (Continua)

Bairro	Nó	Pressão Observada (mca)	Pressão Calculada (mca)	$\Delta$
Venâncios	779	25	24,76	-0,24
Venâncios	780	25	24,56	-0,44
Venâncios	781	24	24,42	0,42
Venâncios	782	25	24,01	-0,99
Venâncios	787	25	25,64	0,64
Venâncios	786	24	24,86	0,86
Venâncios	759	24	27,09	3,09
Venâncios	1545	25	26,05	1,05
Venâncios	214	24	28,24	4,24
Venâncios	1601	20	23,61	3,61
Venâncios	1589	25	31,28	6,28
Venâncios	598	24	30,60	6,6
Venâncios	578	25	32,18	7,18
Venâncios	1602	25	22,34	-2,66
Venâncios	585	30	34,02	4,02
Venâncios	584	30	34,07	4,07
Venâncios	564	30	36,32	6,32
Venâncios	1603	35	34,49	-0,51
Venâncios	199	33	32,58	-0,42
Venâncios	1546	45	39,75	-5,25
Venâncios	1575	45	42,78	-2,22
Venâncios	1604	40	42,57	2,57
Venâncios	557	40	34,44	-5,56
Venâncios	198	29	32,23	3,23
Venâncios	1605	35	38,27	3,27
Venâncios	184	37	40,11	3,11
Venâncios	547	37	37,62	0,62
José Rosa	614	20	21,98	1,98
José Rosa	678	20	20,45	0,45
José Rosa	681	20	22,55	2,55
José Rosa	680	20	20,45	0,45
José Rosa	682	20	21,69	1,69
José Rosa	1606	35	33,59	-1,41
José Rosa	643	27	27,67	0,67
José Rosa	699	27	27,34	0,34
José Rosa	697	30	27,22	-2,78
José Rosa	695	27	26,64	-0,36
José Rosa	691	27	26,62	-0,38
José Rosa	686	27	26,61	-0,39
José Rosa	636	35	35,33	0,33
José Rosa	637	35	36,03	1,03
José Rosa	1548	35	33,36	-1,64



Tabela A, 1- Diferença entre pressões calculadas e observadas (Continuação)

<b>Bairro</b>	<b>Nó</b>	<b>Pressão Observada (mca)</b>	<b>Pressão Calculada (mca)</b>	<b><math>\Delta</math></b>
José Rosa	1549	35	36,37	1,37
José Rosa	625	35	35,3	0,3
José Rosa	730	35	31,39	-3,61
José Rosa	734	30	30,6	0,6
José Rosa	724	33	34,3	1,3
José Rosa	736	30	32,08	2,08
José Rosa	743	30	33,73	3,73
José Rosa	742	30	34,05	4,05
São José	980	23	23,09	0,09
São José	977	22	23,57	1,57
São José	1004	22	24,17	2,17
São José	987	20	25,54	5,54
São José	983	20	20,62	0,62
São José	994	20	21,06	1,06
São José	1551	25	21,29	-3,71
São José	1043	25	20,6	-4,4
São Vicente	1219	24	23,45	-0,55
São Vicente	1206	21	26,69	5,69
São Vicente	1220	18	24,02	6,02
São Vicente	1244	20	23,11	3,11
São Vicente	1173	20	24,96	4,96
São Vicente	1205	20	25,44	5,44
São Vicente	1175	20	28,4	8,4
São Vicente	1180	20	22,23	2,23
São Vicente	1192	20	26,51	6,51
Planaltina	495	30	28,52	-1,48
Planaltina	501	30	32,59	2,59
Planaltina	1649	30	31,25	1,25
Planaltina	505	30	28,68	-1,32
Planaltina	503	35	33,55	-1,45
Planaltina	500	33	34,11	1,11
Cajas	1517	25	20,79	-4,21
Cajas	1513	25	26,79	1,79
Cajas	1519	25	24,61	-0,39
Cajas	1496	20	23,55	3,55
Cajas	1520	25	24,22	-0,78
Cajas	1430	20	23,11	3,11
Cidade 2000	1417	20	22,1	2,1
Cidade 2000	1421	18	22,08	4,08
Cidade 2000	1423	18	22,41	4,41
Cidade 2000	1268	18	23,94	5,94
Fátima I	51	20	24,06	4,06
Fátima I	718	20	21,69	1,69
Fátima I	433	20	23,27	3,27
Fátima I	1574	35	34,21	-0,79

Tabela A, 1- Diferença entre pressões calculadas e observadas (Conclusão)

<b>Bairro</b>	<b>Nó</b>	<b>Pressão Observada (mca)</b>	<b>Pressão Calculada (mca)</b>	<b><math>\Delta</math></b>
Fátima I	431	20	21,04	1,04
Fátima I	428	22	25,95	3,95
Fátima I	750	20	23,79	3,79
Fátima I	1134	20	17,07	-2,93
Fátima I	930	20	20,69	0,69
Fátima I	837	29	31,9	2,9
Fátima I	835	30	29,6	-0,4
Fátima I	814	20	23,45	3,45
Fátima I	796	18	21,42	3,42
Fátima I	793	18	21,28	3,28
Fátima I	1632	30	30,46	0,46
São Vicente	1562	25	26,84	1,84
São Vicente	1226	25	30,8	5,8
São Vicente	1235	29	28,39	-0,61
São Vicente	1217	25	26,81	1,81
São Vicente	1230	25	26,91	1,91
São Vicente	1472	25	25,37	0,37
São Vicente	1473	25	27,01	2,01
São Vicente	1232	28	26,42	-1,58
São Vicente	1229	30	29,07	-0,93
São Vicente	1228	28	24,08	-3,92
São Vicente	1564	28	31,05	3,05
Ipase	328	25	26,05	1,05
Ipase	310	30	32,95	2,95
Ipase	1568	25	24,89	-0,11
Ipase	1566	20	23,58	3,58
Ipase	1611	25	25,18	0,18
Ipase	1610	25	26,56	1,56
Ipase	1609	25	23,98	-1,02

Fonte: Autoria própria (2019).