

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E**  
**AMBIENTAL**

**PLANEJAMENTO AMBIENTAL NA**  
**CONCEPÇÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA:**  
**ESTUDO DE CASO DE FORMOSA - GO**

**DAIANA LIRA DE ARAUJO**  
**HELIO GUILHERME DE ALMEIDA LARA**

**ORIENTADOR: WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, DSc**  
**CO-ORIENTADOR: RICARDO SILVEIRA BERNARDES, PhD**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA**  
**AMBIENTAL**

**BRASÍLIA / DF: JULHO / 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**PLANEJAMENTO AMBIENTAL NA  
CONCEPÇÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA:  
ESTUDO DE CASO DE FORMOSA - GO**

**DAIANA LIRA DE ARAUJO  
HELIO GUILHERME DE ALMEIDA LARA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL.**

**APROVADA POR:**

---

**WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, DSc (UnB)  
(ORIENTADOR)**

---

**RICARDO SILVEIRA BERNARDES, PhD (UnB)  
(CO-ORIENTADOR)**

---

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES, PhD (UnB)  
(EXAMINADORA INTERNA)**

---

**RICARDO TEZINI MINOTI, DSc (UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 08 de julho de 2014.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ARAUJO, DAIANA LIRA; LARA, HELIO GUILHERME DE ALMEIDA  
Planejamento Ambiental na Concepção de Rede de Distribuição de Água: Estudo de Caso de Formosa – GO. Distrito Federal, 2015.

xii, 119 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2015)  
Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| 1. SAA                 | 2. Expansão urbana  |
| 3. Modelos hidráulicos | 4. Geoprocessamento |
| I. ENC/FT/UnB          |                     |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAUJO, D.L.; LARA, H.G.A. (2015). Planejamento Ambiental na Concepção de Rede de Distribuição de Água: Estudo de Caso de Formosa – GO. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 131 P.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Daiana Lira de Araujo; Helio Guilherme de Almeida Lara

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Planejamento Ambiental na Concepção de Rede de Distribuição de Água: Estudo de Caso de Formosa – GO. Monografia de Projeto Final.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2015

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Daiana Lira de Araujo  
SHCES 105, Bloco F, Apartamento 206  
70.650-156 - Brasília/DF - Brasil

---

Helio Guilherme de Almeida Lara  
Quadra 2, Conjunto I, Casa 304, Setor Norte  
72.430-209 - Gama/DF - Brasil

*Dedico este trabalho aos meus  
amados pais e irmãos,  
por todo cuidado e apoio.  
Daiana Lira.*

*Dedico este trabalho aos meus pais  
e à memória do meu tio Lázaro,  
pela sabedoria passada e por  
toda confiança em mim depositada.  
Helio Lara.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que com sua imensa graça e amor, nos sustentou até aqui.

Ao nosso orientador, Wagner Santos, pela dedicação, apoio e constante encorajamento.

A todo o corpo docente do ENC/FT/UnB pelo empenho ao longo do curso, em especial aos professores Ricardo Bernardes, Conceição Albuquerque e Dirceu Silveira pela prestatividade durante a realização deste projeto.

À RIDE/DF pela oportunidade e apoio financeiro.

Aos nossos colegas de curso, particularmente ao Luango e à Laila pela disponibilidade em nos ajudar.

Eu, Daiana, agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Antonice e Jucenaldo, que sempre me apoiaram e incentivaram. Aos meus queridos irmãos, Vívica e Reginaldo, e prima, Vitória, por seus bons conselhos. E, finalmente, aos meus colegas de curso, especialmente a minha dupla de projeto, e sempre amigo, Helio Guilherme.

Eu, Helio, agradeço primeiramente à minha mãe, Neuza, por ter estado ao meu lado em todos os momentos até aqui, me dando forças para nunca desistir dos meus objetivos. Ao meu pai, Hélio, pelo incentivo e apoio financeiro. À Heletícia, minha irmã, por ter me dado a fonte de descanso – sobrinha Tarsila. E, por fim, à minha amiga e parceira, Daiana Lira, pelo companheirismo e serenidade na solução dos conflitos.

## RESUMO

O processo de ocupação urbana, historicamente, tem ocorrido de maneira desordenada e negligenciada, à parte de um planejamento urbano que contemple as potencialidades e fragilidades do meio ambiente, e dissociado a planos de saneamento básico para demandas futuras. Além disso, a ação especulativa sobre o solo urbano e as desigualdades sociais prejudicam o acesso a moradias em locais adequados. Como conseqüências, há a concentração de pessoas muitas vezes sem condições mínimas de infraestruturas públicas e a produção de uma série de efeitos negativos na saúde humana e no meio ambiente. Além do mais, a expansão não planejada das redes de abastecimento de água gera problemas no atendimento às normas, quanto aos intervalos de pressão e velocidade. Então, com vistas a integrar as características do meio ambiente às tomadas de decisões no planejamento do uso do solo, surgiu o planejamento ambiental. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo geral propor a adequação da rede de abastecimento de água para a zona urbana do Município de Formosa, Goiás, em um dos cenários de ocupação urbana proposto, com base no crescimento populacional calculado para o horizonte temporal adotado, de 35 anos. Para tanto, foram feitos dois cenários, um otimista, fundamentado nas diretrizes do Plano Diretor municipal quanto ao aumento da densidade demográfica, e um pessimista, considerando a densidade demográfica média atual constante. Para delimitação dos cenários, um mapa de aptidão à expansão urbana foi gerado, baseado em seis critérios – físicos e ambientais. E para concepção da rede foram consideradas as normas e as recomendações literárias existentes quanto a demanda, diâmetro, distâncias máximas entre tubulações, material, entre outras. Do diagnóstico da rede atual, inferiu-se que a melhor solução era a concepção de uma nova rede, tentando, ao máximo, contemplar as estruturas existentes. Dos resultados, pôde-se concluir que Formosa não tem grandes possibilidades de crescimento urbano, visto que está em uma região cercada por diversos fatores, naturais e políticos, que impossibilitam tal uso. Além disso, a ocupação rarefeita da cidade, até mesmo para o cenário de adensamento, foi um fator limitante para o perfeito funcionamento da rede proposta. Finalmente, as baixas escalas dos mapas obtidos e a grande dificuldade de acesso às informações atualizadas foram pontos negativos. Por outro lado, os programas utilizados, como sistemas de informações geográficas e de simulações hidráulicas, foram bem-sucedidos na obtenção dos resultados, o que reforça a necessidade da utilização dessas ferramentas na solução de problemas urbanos correlacionados aos assuntos abordados.

# SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                               | <b>1</b>  |
| 1.1      | OBJETIVOS GERAIS .....                                | 3         |
| 1.1.1    | Objetivos Específicos .....                           | 3         |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                    | <b>4</b>  |
| 2.1      | CRESCIMENTO URBANO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL .....     | 4         |
| 2.1.1    | Legislação Vigente .....                              | 5         |
| 2.1.2    | Estudo de Cenários .....                              | 9         |
| 2.2      | SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....                | 10        |
| 2.2.1    | Componentes do Sistema de Abastecimento de Água ..... | 10        |
| 2.2.2    | Concepção de Sistemas de Abastecimento de Água .....  | 13        |
| 2.2.3    | Rede de distribuição de água .....                    | 18        |
| 2.3      | GEOPROCESSAMENTO .....                                | 24        |
| 2.3.1    | Sistema de Informações Geográficas – SIG .....        | 25        |
| 2.3.2    | SIG na Construção de Cenários Urbanos .....           | 28        |
| 2.4      | ANÁLISE ESPACIAL MULTICRITÉRIO .....                  | 28        |
| 2.4.1    | Restrições vs. Fatores .....                          | 29        |
| 2.4.2    | Método Booleano .....                                 | 30        |
| 2.4.3    | Método <i>Fuzzy</i> .....                             | 31        |
| 2.4.4    | Método da Combinação Linear Ponderada .....           | 33        |
| 2.4.5    | Técnica AHP – Processo Analítico Hierárquico .....    | 34        |
| 2.5      | MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA .....                 | 37        |
| 2.5.1    | Epanet .....  | 37        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                              | <b>41</b> |
| 3.1      | LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES .....             | 42        |
| 3.1.1    | Dados Físicos .....                                   | 42        |
| 3.1.2    | Dados Legais .....                                    | 43        |
| 3.1.3    | Dados Demográficos .....                              | 43        |
| 3.1.4    | Dados do atual SAA .....                              | 43        |
| 3.2      | CÁLCULO DEMOGRÁFICO .....                             | 44        |
| 3.3      | VERIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DE OCUPAÇÃO .....       | 45        |
| 3.4      | MAPA DE APTIDÃO À EXPANSÃO URBANA .....               | 46        |
| 3.4.1    | Obtenção dos Critérios .....                          | 47        |
| 3.4.2    | Aplicação da Análise Multicritério .....              | 49        |
| 3.4.3    | Ponderação dos Fatores .....                          | 51        |
| 3.5      | CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO .....             | 52        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.6      | DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....         | 54         |
| 3.7      | Cálculo das vazões de projeto .....                          | 54         |
| 3.7.1    | Verificação da Adequação das Unidades Existentes.....        | 55         |
| 3.8      | PROPOSTA DE NOVA CONCEPÇÃO PARA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ....    | 56         |
| 3.8.1    | Estudo das Zonas de Pressão .....                            | 56         |
| 3.8.2    | Traçado da rede de distribuição.....                         | 57         |
| 3.8.3    | Dimensionamento dos Conduitos .....                          | 58         |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS .....</b>                                      | <b>60</b>  |
| 4.1      | DIAGNÓSTICO.....   | 60         |
| 4.1.1    | Localização e Caracterização da Área de Estudo.....          | 60         |
| 4.1.2    | Plano Diretor de Formosa.....                                | 61         |
| 4.2      | Cálculo demográfico .....                                    | 63         |
| 4.3      | MAPA DE APTIDÃO À EXPANSÃO URBANA .....                      | 65         |
| 4.3.1    | Distância de Infraestruturas Existentes .....                | 65         |
| 4.3.2    | Declividade.....   | 70         |
| 4.3.3    | Uso e Cobertura do Solo.....                                 | 73         |
| 4.3.4    | Pedologia .....  | 76         |
| 4.3.5    | Geologia .....   | 79         |
| 4.3.6    | Restrições Ambientais e Legais.....                          | 82         |
| 4.3.7    | Método AHP e Modelo Matemático .....                         | 84         |
| 4.3.8    | Mapa de Aptidão à Expansão Urbana .....                      | 86         |
| 4.4      | CENÁRIOS .....   | 88         |
| 4.4.1    | Delimitação das Áreas dos Cenários .....                     | 88         |
| 4.4.2    | Análise das Ocupações Irregulares.....                       | 89         |
| 4.5      | DIAGNÓSTICO do SAA.....                                      | 95         |
| 4.5.1    | Adequação das Unidades Existentes .....                      | 97         |
| 4.6      | PROPOSIÇÃO DE NOVA CONCEPÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ....    | 99         |
| 4.6.1    | Análise das “Zonas de Pressão” e Traçado das Tubulações..... | 100        |
| 4.6.2    | Dimensionamento da Rede de Distribuição .....                | 103        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>                       | <b>108</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                      | <b>111</b> |
|          | <b>ANEXO A.....</b>  | <b>116</b> |



## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 2.1 – Componentes de um sistema de abastecimento .....                         | 11  |
| Figura 2.2 – Estação elevatória de água tratada .....                                 | 12  |
| Figura 2.3 – Reservatório apoiado.....  | 13  |
| Figura 2.4 – Rede de distribuição.....  | 18  |
| Figura 2.5 – Rede ramificada .....  | 19  |
| Figura 2.6 – Rede malhada.....  | 20  |
| Figura 2.7 – Esquema de abastecimento para atender diversas zonas de pressão.....     | 22  |
| Figura 2.8 – Arquitetura de um SIG .....  | 26  |
| Figura 2.9 – Diagrama de Venn com operações booleanas.....                            | 31  |
| Figura 2.10 – Diferença de fronteira entre conjuntos fuzzy (A) e booleano (B).....    | 32  |
| Figura 2.11 – Função <i>fuzzy</i> linear.....   | 33  |
| Figura 3.1 – Fluxograma metodológico .....  | 41  |
| Figura 4.1 – Área de estudo no município de Formosa-GO.....                           | 60  |
| Figura 4.2 – Mapa de Zoneamento urbano proposto pelo Plano Diretor .....              | 63  |
| Figura 4.3 – Mapas de distância de infraestrutura: a) Inicial; b) Reclassificado..... | 67  |
| Figura 4.4 – Função fuzzy linear discretizada para distância de infraestruturas.....  | 68  |
| Figura 4.5 – Mapas de declividade: a) Inicial; b) Reclassificado.....                 | 71  |
| Figura 4.6 – Mapas de uso e cobertura do solo: a) Inicial; b) Reclassificado .....    | 74  |
| Figura 4.7 - Mapas de pedologia: a) Inicial; b) Reclassificado .....                  | 78  |
| Figura 4.8 – Mapas de geologia: a) Inicial; b) Reclassificado .....                   | 81  |
| Figura 4.9 – Mapas de restrições: a) Inicial; b) Reclassificado.....                  | 83  |
| Figura 4.10 – Mapa de aptidão à expansão urbana do Município de Formosa.....          | 87  |
| Figura 4.11 – Mapa de delimitação das áreas.....                                      | 90  |
| Figura 4.12 – Mapa de análise de usos adversos ao zoneamento.....                     | 92  |
| Figura 4.13 – Cenário de ocupação 1 .....   | 93  |
| Figura 4.14 – Cenário de ocupação 2 .....   | 94  |
| Figura 4.15 – Cadastro do SAA de Formosa, referente ao ano de 2009 .....              | 97  |
| Figura 4.16 – Mapa de concepção da rede de abastecimento de água .....                | 102 |
| Figura 4.17 - Pressões obtidas nas zonas do sistema integrado.....                    | 103 |
| Figura 4.18 - Pressões obtidas no sistema isolado Vila Verde.....                     | 104 |
| Figura 4.20 – Dimensionamento das tubulações da Zona R5 .....                         | 105 |
| Figura 4.23 – Dimensionamento das tubulações do sistema isolado Vila Verde.....       | 106 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 2.1 – Diâmetro mínimo segundo a Norma NTE-IFA .....                          | 22  |
| Tabela 2.2 – Escala de comparadores.....  | 35  |
| Tabela 2.3 – Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n .....                 | 36  |
| Tabela 2.4 – Fórmulas para o cálculo da perda de carga contínua em escoamentos..... | 39  |
| Tabela 3.1 – Notas para aptidão .....   | 51  |
| Tabela 4.1 - População urbana total estimada .....                                  | 64  |
| Tabela 4.2 – Taxa média de crescimento anual (%) da população.....                  | 64  |
| Tabela 4.3 – Resultados das classes qualificadoras do mapa de distância .....       | 66  |
| Tabela 4.4 – Consequências da densidade demográfica.....                            | 69  |
| Tabela 4.5 - Resultados do mapa de declividade.....                                 | 72  |
| Tabela 4.6 – Resultados do mapa de declividade reclassificado .....                 | 72  |
| Tabela 4.7 – Resultado do mapa de uso e cobertura do solo.....                      | 73  |
| Tabela 4.8 – Resultados do mapa de uso e cobertura do solo reclassificado .....     | 76  |
| Tabela 4.9 – Resultados do mapa de pedologia.....                                   | 77  |
| Tabela 4.10 – Resultados do mapa de pedologia reclassificado.....                   | 79  |
| Tabela 4.11 – Resultados do mapa temático de geologia.....                          | 80  |
| Tabela 4.12 – Resultados para o mapa de geologia reclassificado.....                | 80  |
| Tabela 4.13 - Resultados para o mapa de restrições.....                             | 82  |
| Tabela 4.14 – Matriz de comparação pareada .....                                    | 84  |
| Tabela 4.15 – Matriz normalizada.....   | 84  |
| Tabela 4.16 – Verificação de consistência .....                                     | 85  |
| Tabela 4.17 - Resumo dos resultados dos cenários .....                              | 95  |
| Tabela 4.18 – Dados disponíveis no SNIS .....                                       | 98  |
| Tabela 4.19 – Demandas previstas para a ETA até 2050 .....                          | 99  |
| Tabela 4.20 – Informações de carga dos reservatórios existente .....                | 100 |
| Tabela 4.21 – Demanda nos nós.....  | 101 |
| Tabela 4.22 – Porcentagem de velocidades inferiores à mínima, por zona.....         | 107 |

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| 3D      | Três dimensoes   |
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                        |
| AHP     | <i>Analytical Hierarchy Process</i>                             |
| ANA     | Agência Nacional de guas                                       |
| APP     | rea de Preservação Permanente                                  |
| CONAMA  | Conselho Nacional do Meio Ambiente                              |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                     |
| ESRI    | <i>Environmental Systems Research Institute</i>                 |
| ETA     | Estaao de Tratamento de Esgoto                                |
| EUA     | Estados Unidos da América                                       |
| FUNASA  | Fundação Nacional de Saúde                                      |
| GO      | Estado do Goiás   |
| hab     | Habitantes  |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                 |
| INPE    | Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais                     |
| IPTU    | Imposto Predial e Territorial Urbano                            |
| km      | Quilmetro  |
| kPa     | Quilopascal   |
| L       | Litro   |
| L/s     | Litros por segundo  |
| LENHS   | Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento |
| M       | Metro   |
| m/s     | Metros por segundo  |
| MDT     | Modelo digital de terreno                                       |
| mca     | Metros de coluna d'gua   |
| MG      | Estado de Minas Gerais  |
| mm      | Milímetros  |
| MMA     | Ministério do Meio Ambiente                                     |
| MSH     | Modelo de Simulação Hidráulica                                  |
| N       | Norte   |
| NASA    | <i>National Aeronautics and Space Administration</i>            |
| NBR     | Norma Brasileira  |

|        |   |
|--------|---|
| OMS    | Organização Mundial da Saúde                                    |
| PD     | Plano Diretor   |
| PNB    | Projeto de Norma Brasileira                                     |
| PU     | Parque Urbano   |
| PVC    | Policloreto de Polivinila                                       |
| RC     | Razão de Consistência   |
| REL    | Reservatório Elevado  |
| RET    | Reservatório Enterrado  |
| RIDE   | Região Integrada de Desenvolvimento                             |
| RSE    | Reservatório Semienterrado                                      |
| S      | Sul   |
| SAA    | Sistema de Abastecimento de Água                                |
| SEDHAB | Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Regularização e Habitação |
| SEPLAN | Secretaria de Planejamento e Coordenação de Goiás               |
| SIEG   | Sistema de Informação do Estado de Goiás                        |
| SIG    | Sistema de Informações Geográficas                              |
| SNIS   | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento                |
| TI     | Tecnologia da Informação  |
| UFPB   | Universidade Federal da Paraíba                                 |
| USEPA  | <i>United States Environmental Protection Agency</i>            |
| ZCS    | Zona de Comércio e Serviços                                     |
| ZEIS   | Zona Especial de Interesse Social                               |
| ZEU    | Zona de Expansão Urbana   |
| ZI     | Zona Industrial   |
| ZPA    | Zona de Proteção Ambiental                                      |
| ZPR    | Zona Preferencialmente Residencial                              |
| ZPRU   | Zona Preferencialmente Residencial e Universitária              |

# 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização nos países em desenvolvimento ocorreu, de modo geral, a partir das décadas de 1930 e 1940, com considerável atraso em comparação aos países desenvolvidos, que começaram a se urbanizar a partir da Revolução Industrial. Em consequência disso, assim como apontam dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), houve uma evolução da população urbana no país de 36%, em 1950, para 84%, em 2010. Tendência essa que deve permanecer, tendo em vista que o Brasil ainda possui um razoável potencial de transferência de população do campo para a cidade (Brito *et al.*, 2007 *apud* Nascimento *et al.*, 2009).

Essa tendência, no entanto, vem sendo acompanhada de diversos problemas devido ao fato de a expansão urbana de forma planejada ainda não ser uma realidade comum ao longo do país. Grande parte das ocupações de novas áreas se dá de forma desordenada e irregular, havendo, frequentemente, a ocupação de áreas de proteção ambiental e de risco (onde se incluem áreas sujeitas a inundações ou a processos erosivos). Oliveira e Moraes (2014) argumentam que a concepção do espaço urbano sem levar em consideração a aptidão física à ocupação humana resulta em efeitos negativos e provoca o aparecimento de diversos problemas.

Nesse contexto, a formulação de políticas públicas urbanas adequadas é fundamental, incluindo-se as relativas ao uso e ocupação do solo urbano, à habitação e à infraestrutura, visando contribuir para a construção de ambientes urbanos equilibrados, tanto do ponto de vista social quanto ambiental (Honda *et al.*, 2015). Sendo a qualidade de vida da população um dos principais objetivos a serem alcançados.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) informou que a qualidade de vida está intimamente ligada, entre outras condições, ao saneamento e meio ambiente. Tal percepção nos remete a necessidade real de que haja a inclusão do planejamento ambiental na realidade das cidades brasileiras, além de um maior esforço na busca da universalização dos serviços de saneamento, que, inclusive, integra uma das diretrizes nacionais para saneamento básico.

O saneamento básico é considerado pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Dentre os componentes do saneamento, o abastecimento de água para consumo vem sendo o que apresenta melhores índices. Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2009 (SNIS, 2011), o índice de atendimento da população com coleta de esgoto no País não passava de 52%, enquanto que o índice com abastecimento urbano de água era de 95,2%.

Ainda assim, o abastecimento de água continua sendo uma das principais prioridades da população, devido, em suma, a sua importância direta à saúde pública e às atividades humanas. Martins *et al.* (2001, *apud* Alem e Martins, 2005), após avaliação do alívio orçamentário, chegaram à relação de US\$ 3,50 a cada dólar gasto em serviços de água e esgoto, considerando os benefícios associados a valores subjetivos como conforto, bem-estar, desenvolvimento econômico, entre outros.

O saneamento básico, a proteção ao meio ambiente, o uso, parcelamento e ocupação do solo e o controle da poluição ambiental são algumas das áreas de interesse da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE-DF). A RIDE-DF, criada pela Lei Complementar nº 94/1998 e regulamentada pelo Decreto nº 7.469/2011, tem como efeito a articulação da ação administrativa da União, do Distrito Federal e dos Estados de Goiás (GO) e Minas Gerais (MG). Dentro da abrangência da RIDE-DF está o Município goiano de Formosa - GO, o qual será objeto deste estudo de caso.

Além disso, conforme os dados publicados no Atlas da Agência Nacional de Águas (ANA), o sistema de abastecimento de água (SAA) do Município de Formosa requer a ampliação ou adequação do sistema atual. Também, com relação ao planejamento ambiental, o Plano Diretor Municipal de Formosa (Lei Municipal nº 251/2004) estabeleceu algumas diretrizes ambientais, entre elas a proteção de corpos d'água e da vegetação nativa

nas áreas urbanas e rurais. Tais conhecimentos dão base aos objetivos propostos no presente estudo.

## **1.1 OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar, baseado em um enfoque de sustentabilidade ambiental, o ordenamento territorial vigente no Município de Formosa - GO. E propor a adequação do Sistema de Abastecimento de Água existente às normativas cabíveis e às demandas previstas para o horizonte temporal delimitado.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

a) Avaliar a adequação do zoneamento urbano, previsto pelo Plano Diretor do Município de Formosa, quanto à ocupação atual e às especificidades do ambiente, aplicando-se restrições e aptidões ambientais;

b) Projetar cenários de ocupação futura na área urbana, respeitando-se a situação atual;

c) Diagnosticar o Sistema de Abastecimento de Água existente no Município, com vistas ao crescimento demográfico previsto, propondo sua adequação às exigências normativas e de demanda;

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CRESCIMENTO URBANO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

A aglomeração populacional, os padrões de consumo, os padrões de deslocamento e as atividades econômicas urbanas, exercem intensos impactos sobre o meio ambiente em termos de consumo de recursos e produção de resíduos. Historicamente, os recursos naturais foram vistos como inesgotáveis. A água, o ar, a vegetação e toda fonte energética da qual o ser humano depende, durante muito tempo foram manipulados sem considerar critérios de economia e controle (Nascimento, 2008).

O crescimento urbano dos municípios é decorrente do crescimento natural da população, do êxodo rural e da migração de outras localidades. Esse processo de ocupação, predominantemente, vem acontecendo de maneira desordenada, à parte de um planejamento prévio que atenda às necessidades vitais do homem, a fragilidade e as características do ambiente ocupado (Santos *et al.*, 1998 *apud* Nascimento *et al.*, 2009).

O planejamento urbano tem sido feito muito mais a partir de critérios econômicos do que de socioambientais. A não implementação de um plano de ocupação multicriterial acarreta em concentrações de pessoas sem condições mínimas de infraestrutura, como saneamento básico, e produz uma série de efeitos negativos na saúde humana e na integridade do meio ambiente.

O planejamento ambiental é empregado na definição de qualquer tipo de planejamento que leve em considerações fatores naturais e socioeconômicos para a avaliação das possibilidades de uso do território e/ou dos recursos naturais. Esse tipo de planejamento surgiu com o aumento da demanda do uso irracional dos recursos energéticos, biológicos, terras e águas (Oliveira, 2009).

De acordo com Nascimento (2008), as desigualdades sociais e a ação especulativa sobre o solo urbano dificultam o acesso a moradias em áreas adequadas por parte da



população de mais baixa renda, resultando em tensões sociais que produzem a crescente falta de infraestrutura que compromete a qualidade ambiental das cidades.

Outro problema relacionado à ação especulativa sobre o solo são os vazios urbanos. De acordo com Veiga *et al.* (2010), os vazios urbanos surgem com a expansão urbana, dentro do jogo de interesses entre agentes públicos e privados, em áreas valorizadas da cidade, com infraestrutura instalada em operação, e subutilizada devido ao seu não uso, formando ilhas bem localizadas no tecido urbano sem aproveitamento dos serviços de água, esgoto, luz, transporte público, entre outros. São resultado do funcionamento do mercado de terras, das formas de atuação dos agentes privados e das políticas dos agentes públicos.

O planejamento ambiental de ocupação do solo é imprescindível na minimização dos problemas urbanos associados à desorganização em que se dá o crescimento das cidades e seus problemas ambientais. O estudo das características ambientais, físicas, sociais e econômicas do território urbano gera conhecimento necessário à tomada de decisão na orientação da expansão urbana, visando garantir uma ocupação racional dos espaços, a prevenção de impactos ambientais e a prevenção de conflitos entre os atores sociais (Merenda, 2011; Nascimento, 2008).

Ademais, Menezes (2001, *apud* Oliveira e Moraes, 2014) salienta que o prévio conhecimento do meio físico se torna cada vez mais importante por este ser o suporte de todas as atividades antrópicas atuais e futuras e, entre todos os componentes do ambiente, ser o de mais lenta e difícil recuperação.

### **2.1.1 Legislação Vigente**

O Estatuto da Cidade – Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001 – regulamentou os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, instituindo normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.

São estabelecidas, no artigo 2º do Estatuto da Cidade (2001), as diretrizes gerais para ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, dentre as quais podem-se destacar:

I - garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;

III – cooperação entre os governos, a iniciativa privada e os demais setores da sociedade no processo de urbanização, em atendimento ao interesse social;

IV – planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;

VI – ordenação e controle do uso do solo;

XII – proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico;

XIV – regularização fundiária e urbanização de áreas ocupadas por população de baixa renda mediante o estabelecimento de normas especiais de urbanização, uso e ocupação do solo e edificação, consideradas a situação socioeconômica da população e as normas ambientais;

Além disso, o Estatuto da Cidade (2001) considera o município responsável pela execução da política urbana e estabelece, como instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, o Plano Diretor (PD). O PD, aprovado por lei municipal, deve englobar o território do Município como um todo, sendo obrigatório para cidades listadas nos incisos do artigo 41º:

I – com mais de vinte mil habitantes;

II – integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas;

III – onde o Poder Público municipal pretenda utilizar o parcelamento ou edificação compulsório, Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) progressivo no tempo ou desapropriação com pagamento mediante títulos da dívida pública;

IV – integrantes de áreas de especial interesse turístico;

V – inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional;

VI - incluídas no cadastro nacional de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

Na gestão urbana, outros parâmetros devem ser observados para o uso do solo urbano, dentre eles estão as leis de preservação dos recursos naturais e do parcelamento do solo urbano, que orientam o uso e as restrições em áreas urbanas (Nascimento, 2008).

A Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, dispõe sobre o parcelamento do solo para fins urbanos e traça, nos incisos do parágrafo único do artigo 3º, os casos de impedimento de parcelamento do solo:

- I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;
- II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;
- III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;
- IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;
- V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

A Lei Estadual nº 18.104, de 18 de julho de 2013, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, institui a nova Política Florestal do Estado de Goiás e dá outras providências. No inciso II do artigo 5º, define área de preservação permanente (APP) como:

II – Área de Preservação Permanente – APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

O Código Florestal - Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 – dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e institui, nos incisos I e II do artigo 4º, a área de preservação permanente (APP) em zonas rurais ou urbanas. Texto semelhante ao da Lei Municipal nº 147, de 14 de maio de 2014, e ao da Lei Estadual nº 18.104. São consideradas APPs:

- I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:
  - a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
  - b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a

- 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
  - d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
  - e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
- II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
- a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
  - b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;
- III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;
- IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;
- V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;
- VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- VII - os manguezais, em toda a sua extensão;
- VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
- IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;
- X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;
- XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.

Além das legislações explicitadas, o PD de Formosa propõe um zoneamento urbanístico e um macrozoneamento, com áreas restritivas à ocupação urbana e, nas zonas onde a ocupação é prevista, define as densidades demográficas.

### **2.1.2 Estudo de Cenários**

Segundo Fonseca (2008), a expectativa em relação ao futuro tem assumido um papel importante como referência para as decisões e escolhas, tanto individuais quanto coletivas. Por isso, o futuro deve se constituir na essência do planejamento e das escolhas coletivas das sociedades ou das organizações, investigando as alternativas para definir e calibrar suas ações, introduzindo uma componente de racionalidade e análise técnica para tratar a incerteza.

Enquanto as transformações da realidade se dão de forma lenta e relativamente previsível, o planejamento pode dar-se por simples definições gerais, intuitivas e voluntaristas do futuro. À medida que as mudanças e as incertezas aumentam, cresce a necessidade de maior rigor e de sistematização na antecipação do futuro, o que leva ao desenvolvimento de metodologias e de técnicas, bem como a uma ampliação do uso do recurso de construção de cenários (Fonseca, 2008).

A construção de cenários lida, normalmente, com sistemas altamente complexos e dinâmicos, que convivem com contínuas mudanças. Assim, mesmo em sistemas complexos e caóticos, a antecipação do futuro é possível pelo menos no que diz respeito às características qualitativas gerais do comportamento do sistema. Desse ponto de vista, para os estudos de cenários, é necessário considerar a inevitabilidade de lidar e de aceitar a incerteza, tentando, portanto, apenas limitar seus espaços de possibilidades (Fonseca, 2008).

Analogamente, em processos de expansão urbana, o comportamento de qualquer ocupação tende a expressar determinados padrões logicamente interpretados e analisados, que decorrem, predominantemente, de fatores legais, históricos e socioeconômicos. A relação de predominância entre os fatores depende de outras circunstâncias, como grau de escolaridade e ação governamental.

## **2.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Como os demais componentes do saneamento básico, o abastecimento de água apresenta grande importância tanto sanitária, quanto social e econômica, sendo por essa razão uma das responsabilidades do poder público. Dentre seus objetivos estão o controle e a prevenção de doenças, o aumento da vida média da população pela redução da mortalidade, a melhora no bem-estar e qualidade de vida e a promoção do progresso econômico por facilitar, por exemplo, a instalação de indústrias.

Segundo definição apresentada no Manual de Saneamento da Funasa (FUNASA, 2007), Sistema de Abastecimento Público de Água é a instalação formada por um conjunto de obras, instalações e serviços destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população, para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

### **2.2.1 Componentes do Sistema de Abastecimento de Água**

Como processo produtivo o SAA pode ser dividido em duas etapas, a produção e a distribuição. Cada uma dessas etapas é constituída de alguns dos componentes do sistema, a saber: manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água (ETA), reservatório e rede de distribuição (Figura 2.1).

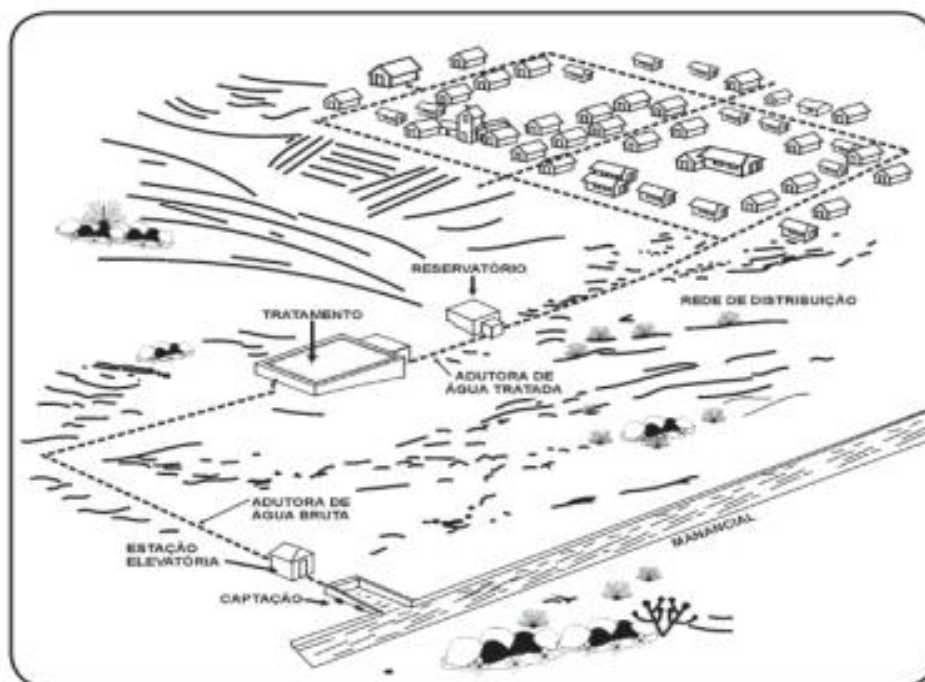


Figura 2.1 – Componentes de um sistema de abastecimento (FUNASA 2007, modificada)

O manancial é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário (Tsutiya, 2006). A adequação da qualidade deve ter por base as condições exigidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA Nº 357, 17 de março de 2005), que classifica os corpos d'água segundo sua qualidade definindo os usos preponderantes a serem dados para cada uma das classes. Para o caso de abastecimento para consumo humano, as classes que podem ser utilizadas como manancial são aquelas enquadradas como águas doces, com exceção da classe 4, cujo uso é restrito à navegação e harmonia paisagística.

A captação, conforme FUNASA (2007), é o conjunto de equipamentos e instalações utilizados para a tomada de água do manancial, com a finalidade de lançá-la no sistema de abastecimento. O tipo de captação varia de acordo com o manancial e com o equipamento empregado.

As estações elevatórias (Figura 2.2), por sua vez, são instalações hidráulicas destinadas a recalcar a água para a unidade seguinte, elevando sua pressão através do bombeamento. Em sistemas de abastecimento de água elas apresentam vários usos, sendo os principais a captação de água superficial ou subterrânea, o recalque de água bruta ou tratada, e o aumento da pressão e/ou vazão nas redes de distribuição de forma a atender os padrões estipulados na norma. Esse último uso é comum e promovido por estações elevatórias conhecidas como "booster" (Tsutiya, 2006).



Figura 2.2 – Estação elevatória de água tratada (FUNASA, 2007)

As canalizações que se destinam a conduzir a água tanto bruta como tratada entre as unidades que precedem a rede de distribuição são as adutoras. Não distribuem a água aos consumidores, porém podem existir as derivações que são as subadutoras (Tsutiya, 2006). Além do mais, elas podem ser classificadas de acordo com diversos fatores, entre eles a natureza da água transportada (bruta ou tratada), a energia utilizada para o escoamento da água (por gravidade ou recalque) e o modo de escoamento (conduto livre ou forçado).

A estação de tratamento de água (ETA) tem como função adequar a água captada aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria nº 1.469 – de 29 de dezembro de 2000 – do Ministério da Saúde. O método de tratamento a ser aplicado dependerá da qualidade físico-química da água obtida no manancial. As condições gerais para a elaboração do projeto de ETA estão bem explicitadas na Norma Brasileira (NBR) 12.216 de 92 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e vão desde a definição da localização da ETA até definições quanto aos tratamentos mínimos que devem ser dados a cada classe de água captada.



O componente reservatório é empregado com os propósitos de atender às variações de consumo ao longo do dia, promover a continuidade do abastecimento no caso de paralisação da produção de água, manter pressões adequadas na rede de distribuição e garantir uma reserva estratégica em casos de incêndio (FUNASA, 2007). O que se recomenda a seu respeito é que a capacidade de armazenamento deve ser igual ou maior que 1/3 do volume de água consumido no dia de maior consumo.

Os reservatórios podem ser elevados – construídos sobre colunas – ou apoiados (Figura 2.3), enterrados e semienterrados – construídos com o fundo em contato com o terreno – a depender das condições topográficas da cidade. E, por apresentarem risco de contaminação, devem ser protegidos com estrutura adequada, tubo de ventilação, impermeabilização, entre outros.

Por fim, a rede de distribuição é a parte do sistema de abastecimento formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas (Tsutiya, 2006).



Figura 2.3 – Reservatório apoiado  
(FUNASA, 2007)

### **2.2.2 Concepção de Sistemas de Abastecimento de Água**

Segundo a Norma NBR 12.211 de 1992, a concepção de um SAA é o estudo de arranjos, sob os pontos de vista qualitativo e quantitativo, das diferentes partes de um sistema, organizadas de modo a formarem um todo integrado, para a escolha da concepção básica (melhor solução).

Um Sistema de Abastecimento de Água pode ser concebido e projetado para atender a pequenos povoados ou a grandes cidades, variando nas características e no porte de suas instalações (FUNASA, 2007). Sendo os principais parâmetros para a definição da concepção do sistema o tipo de manancial, a topografia da área e a população a ser atendida.

#### 2.2.2.1 Consumo de Água

O consumo previsto para o local, fator fundamental tanto para o planejamento do SAA quanto para sua gestão, está intimamente ligado não só a população prevista como também a outras variáveis referentes aos demais tipos de consumidores. Isso, pois, segundo a norma NBR 12.211 de 92, os consumidores a serem considerados compreendem os estabelecimentos residenciais, industriais e públicos, devendo também ser abastecidos os estabelecimentos comerciais.

O uso doméstico, por sua vez, corresponde a sua utilização residencial, tanto na área interna como na área externa da habitação. Esse tipo de consumo de água depende de um grande número de fatores, que podem ser agrupados nas seguintes classes: características físicas, como temperatura do ar, umidade, entre outras; renda familiar; características da habitação; características do abastecimento; forma de gerenciamento do SAA e características culturais da comunidade (Tsutiya, 2005).

O uso comercial apresenta grande variação com o tipo e tamanho do comércio, isso, pois, nessa categoria ocorrem desde pequenos até grandes consumidores. Essa variação torna a determinação desse consumo relativamente complexa, o que leva as poucas equações formuladas com esse objetivo a serem de difícil aplicabilidade por demandar grande quantidade de informação.

Já o consumo da água em instalações industriais, ao contrário do que ocorre nos usos doméstico e comercial, costuma ser relativamente constante ao longo do ano, não apresentando grande variação na demanda. Inclusive há estudos que calculam a taxa de

consumo em função da área do empreendimento e do número de funcionários, como é o caso das taxas propostas por Muñoz (2000, apud Tsutiya, 2006).

O uso público da água se refere a parcela utilizada na irrigação de jardins, lavagem de ruas e passeios, edifícios e sanitários de uso público, fontes ornamentais, piscinas públicas, combate a incêndio, entre outros (Tsutiya, 2006).

Conhecer e determinar corretamente cada um desses consumos é de grande importância para diminuir os erros de projeto, que podem induzir ao subdimensionamento do sistema levando ao não atendimento da demanda exercida, ou ao superdimensionamento, que resultando no aumento e custos.

#### 2.2.2.2 Consumo *Per Capita* de Água

Nos projetos de abastecimento público de água, o per capita adotado varia de acordo com a natureza da cidade e o tamanho da população local (FUNASA, 2007). De modo geral, esse consumo de água de um determinado setor ou cidade pode ser determinado através dos seguintes métodos: leitura dos hidrômetros; leitura do macro medidor instalado na saída do reservatório; e uso de valores de consumo médio per capita e os seus coeficientes de variação, quando não existirem medições (Tsutiya, 2006).

Na situação onde há a leitura dos hidrômetros, o cálculo do consumo *per capita* é feito dividindo-se o volume consumido total medido pelo número de habitantes atendidos multiplicado pelo número de dias de medição. Deve-se incorporar ao cálculo, também, o índice de perdas de água do sistema de abastecimento, sendo comum em projetos fixar esse valor em uma meta de 20%.

No caso de ausência de medição, podem ser adotados valores de consumo *per capita* de localidades semelhantes à de projeto, considerando-se para a avaliação de semelhança os diversos fatores que influem no consumo de água, já citados anteriormente.

### 2.2.2.3 Variações no consumo

No sistema de abastecimento de água ocorrem variações de consumo significativas, que podem ser anuais, mensais, diárias, horárias e instantâneas. No projeto, algumas dessas variações de consumo devem ser levadas em consideração no cálculo do volume a ser consumido (FUNASA, 2007).

As variações diárias são consideradas através do coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ), esse coeficiente é dado pela relação entre o maior consumo diário verificado no período de um ano e o consumo médio diário neste mesmo período, considerando-se sempre as mesmas ligações, ou seja:

$$k_1 = \frac{\text{maior consumo diário no ano}}{\text{consumo médio diário no ano}} \quad (\text{Equação 2.1})$$

As variações horárias também são levadas em conta através, nesse caso, do coeficiente da hora de maior consumo ( $k_2$ ), que é dado pela relação entre a maior vazão horária observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia, ou seja:

$$k_2 = \frac{\text{maior consumo horário no dia}}{\text{consumo médio diário do dia}} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Os valores desses coeficientes variam conforme as características de cada lugar. No entanto, é comum se adotar valores padrão para esses coeficientes que são 1,2 para o  $k_1$  e 1,5 para o  $k_2$ .

### 2.2.2.4 Estudo da população

As obras de saneamento, assim como as de abastecimento de água, devem ser projetadas de forma a atender a uma população maior do que a atual que seja compatível com o crescimento demográfico em um determinado período de tempo, conhecido como horizonte temporal, alcance do projeto, ou ainda período do projeto.

O alcance do projeto corresponde ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas, tanto equipamentos como obras civis. No Brasil, os sistemas de abastecimento de água têm sido projetados com alcances que variam de 10 a 30 anos (Gomes, 2009). Fixado o período do projeto, deve-se estimar a evolução do crescimento populacional ao longo desses anos. O estudo demográfico deve ser feito de forma complementar ao estudo de uso e ocupação do solo do município, de modo a se obter um maior detalhamento da distribuição espacial e da dinâmica de ocupação populacional.

A previsão da evolução populacional de uma localidade depende de vários fatores, que por sua vez dependem de aspectos econômicos, sociais e políticos, o que torna a previsão mais ou menos complexa (Gomes, 2009). Diversos são os métodos aplicáveis para o estudo demográfico, destacando-se entre eles o método dos componentes demográficos, os matemáticos e os de extrapolação gráfica.

O método dos componentes demográficos considera a tendência passada verificada pelas variáveis demográficas: fecundidade, mortalidade e migração, e são formuladas hipóteses de comportamento futuro (Tsutiya, 2006). A expressão geral de uma população (em função do tempo) pode ser expressa pela Equação 2.3.

$$P = P_0 + (N - M) + (I - E) \quad (\text{Equação 2.3})$$

Onde P é a população no ano t; P<sub>0</sub>, a população inicial; N, nascimentos do período; M, os óbitos; I e E, imigrantes e emigrantes no período. Esta fórmula, embora sem aplicação prática imediata, tem o mérito de pôr em evidência os fatores intervenientes no crescimento populacional (Gomes, 2009).

Os métodos matemáticos, por sua vez, fazem a previsão da população futura através da aplicação de equações matemáticas definidas a dados populacionais de anos anteriores. Destacam-se entre eles os métodos aritmético, geométrico e da curva logística, que pressupõem que a taxa de crescimento populacional, em função do tempo, obedeça às referidas progressões. Cada um desses apresenta limitações em sua aplicação que devem ser consideradas na decisão metodológica.

O método da extrapolação gráfica consiste no traçado de uma curva arbitrária que se ajuste aos dados já observados de populações de outras comunidades com características semelhantes ao estudo, mas que tenham uma população maior (Tsutiya, 2006). Esse método é aplicável para longos períodos de horizonte temporal.

Conhecidas as informações de demanda *per capita*, coeficientes de variação do consumo e população futura é possível, então, que se faça o cálculo da demanda que será utilizada na concepção de cada parte do SAA a se projetar.

No caso da expansão de um sistema já existente, a concepção passa a diagnosticar a situação atual de capacidade de cada uma das unidades componentes em função das demandas calculadas, analisando a necessidade ou não de adequação. Geralmente, a unidade que mais demanda ajustes é a rede de distribuição, o que pode ser devido à formação de novas áreas de crescimento, ou mesmo à manutenção precária que resulta no mau estado das redes.

### **2.2.3 Rede de distribuição de água**

Como descrito anteriormente, a rede de distribuição (Figura 2.4) é o componente do SAA formado por um conjunto de tubulações, conexões, registros e peças especiais, destinados a distribuir a água de forma contínua, a todos os usuários do sistema.



Figura 2.4 – Rede de distribuição  
(FUNASA, 2007)

Uma rede de distribuição é constituída, normalmente, por dois tipos de canalizações: a principal, que são tubulações de maior diâmetro cuja finalidade é abastecer as canalizações secundárias; e as secundárias, que são tubulações de menor diâmetro que abastecem diretamente os ramais prediais dos pontos de consumo do sistema.

### 2.2.3.1 Traçado da rede

Os traçados das redes de distribuição são basicamente de dois tipos: malhado e ramificado, a depender da disposição das canalizações primárias e o sentido do escoamento nas tubulações secundárias.

A rede ramificada, ilustrada na Figura 2.5, consiste em uma tubulação principal, da qual partem tubulações secundárias. Segundo Tsutiya (2006) apesar de permitir que sejam conhecidos os sentidos da vazão em qualquer trecho, esse tipo de rede só é recomendada em casos em que a topografia e os pontos a serem abastecidos não permitam o traçado como rede malhada. Isso, pois, em caso de acidente, a interrupção no escoamento de uma tubulação compromete todo o abastecimento à jusante da mesma.

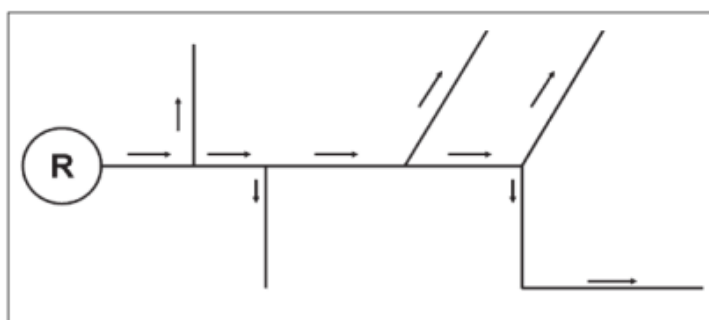


Figura 2.5 – Rede ramificada  
(FUNASA, 2007)

As redes malhadas (Figura 2.6) apresentam os seus trechos interligados em forma de anéis, ou malhas, fazendo com que o sentido das vazões possa mudar, dependendo da demanda nos nós (Gomes, 2009). Esse traçado tem a vantagem de permitir maior flexibilidade em satisfazer a demanda, além de minimizar interrupções no abastecimento por acidentes na rede.

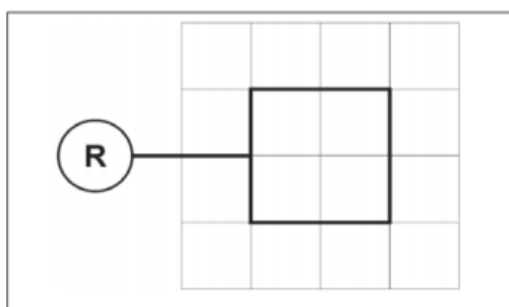


Figura 2.6 – Rede malhada  
(FUNASA, 2007)

A rede malhada na forma de anéis é a mais comum na maioria das cidades e apresenta bom funcionamento. Contudo, em comparação com a rede em blocos, demanda um número maior de registros, o que, de acordo com Tsutiya (2006), diminui a eficiência na manutenção da rede e controle da pressão de distribuição.

Gomes (2009) aponta algumas das principais recomendações sobre o traçado das redes urbanas são elas:

- As tubulações devem ser assentadas em vias ou espaços públicos não edificados, instaladas preferencialmente sobre as calçadas;
- As tubulações das artérias principais devem ser dirigidas às zonas de maior demandada;
- O traçado da rede deve ser prioritariamente malhado;
- Em algumas partes da rede onde o traçado tiver que ser ramificado deverão ser instaladas válvulas de descarga nos pontos finais e mais baixos das tubulações para permitir o eventual esvaziamento dos tubos.

Além das recomendações apontadas anteriormente, cabe salientar que há também aquelas apresentadas na Norma NBR 12.218 de 1994 quanto ao traçado da rede e equipamentos acessórios.



### 2.2.3.2 Dimensionamento de rede

No dimensionamento da rede é essencial o cumprimento de algumas condições específicas determinadas na Norma NBR 12.218 de 1994, para tanto é necessário que seja feita uma análise hidráulica da mesma. De acordo com Tsutiya (2006) para tal análise utiliza-se a equação da continuidade, que estabelece, na condição de equilíbrio, ser nula a soma algébrica das vazões em cada nó da rede, e na aplicação de uma equação de resistência aos vários trechos.

Uma das condições específicas exigidas na Norma é a relativa às pressões mínimas e máximas na rede, onde a fixação das pressões máximas em 500kPa (50 mH<sub>2</sub>O) é função da resistência das tubulações e controle das perdas de água e as mínimas em 100kPa (10 mH<sub>2</sub>O) são aquelas necessárias para o alcance dos reservatórios domiciliares. A esse respeito, Tsutiya (2006) recomenda que, obedecidas as recomendações de pressões mínimas, as máximas devem ser menores o possível, devido ao fato de tanto o consumo quanto as perdas aumentarem com a pressão na rede.

Com o fim de atender os limites de pressão, a rede deve ser subdividida em zonas de pressão, sendo cada zona abastecida por um reservatório de distribuição, conforme mostrado na Figura 2.7. É importante salientar que não há normatização quanto a esses limites de pressão para os condutos principais que não abastecem consumidores ou tubulações secundárias, havendo apenas a advertência quanto à verificação da estabilidade estrutural e segurança sanitária.

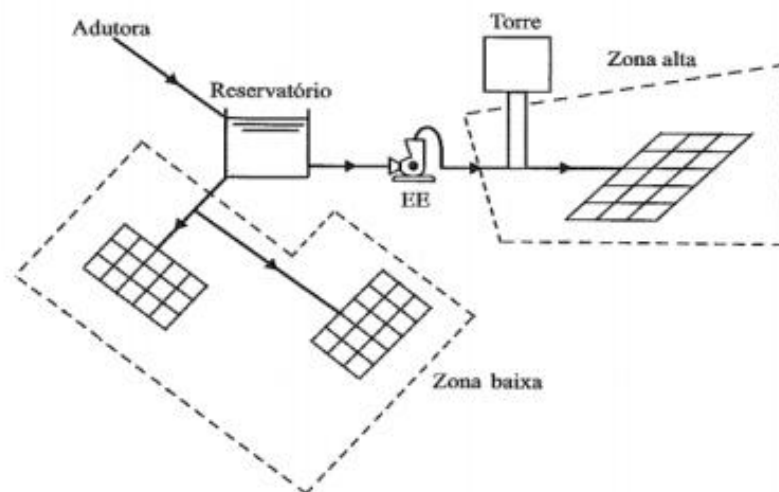


Figura 2.7 – Esquema de abastecimento para atender diversas zonas de pressão

Quanto às velocidades mínimas e máximas a Norma NBR 12.218 de 1994 determina os valores de 0,6 m/s e 3,5 m/s, respectivamente. Estes limites se referem às demandas máximas diárias no início e no final da etapa de execução da rede, e estão associadas tanto à segurança e durabilidade das tubulações, quanto ao custo de implantação e operação.

Outra condição sujeita às recomendações da Norma são os diâmetros mínimos, que devem levar em consideração as perdas de carga e as vazões disponíveis aos usuários. O valor recomendado pela norma é de 50 mm, para as tubulações secundárias; entretanto, no que diz respeito às tubulações principais, essa não traz nenhuma recomendação. A antiga Norma PNB, Projeto de Norma Brasileira, 594/1977 da ABNT recomendava, contudo, os valores ilustrados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Diâmetro mínimo segundo a Norma NTE-IFA

| POPULAÇÃO<br>(hab) | TUBULAÇÃO<br>SECUNDÁRIA (mm) | TUBULAÇÃO<br>PRINCIPAL (mm) |
|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| < 1000             | 50                           | 100                         |
| 1000 - 6000        | 75                           | 125                         |
| > 6000             | 100                          | 175                         |

Os métodos a serem utilizados para o dimensionamento da rede são variados e dependem do tipo de rede a se dimensionar. É possível que sejam aplicados métodos convencionais ou de resolução analítica; entretanto, Tsutiya (2006) argumenta que a tendência atual é a utilização cada vez maior dos métodos de otimização econômica para o dimensionamento de sistemas de distribuição de água.

Para o dimensionamento de redes malhadas geralmente são usadas soluções aproximadas, chegando-se por tentativa à precisão desejada, sendo, para esse caso, mais conhecidos os métodos do seccionamento e o de cálculos iterativos. Esse último é o método recomendado pela norma NBR 12.218 de 1992 para o dimensionamento das redes em malha, sua aplicação deve ser feita de forma a garantir ao final resíduos máximos de vazão e de carga piezométrica de 0,1 l/s e 0,5 kPa, respectivamente.

Mais detalhamento quanto aos métodos de dimensionamento de rede de distribuição e seus fundamentos hidráulicos são apresentados por Tsutiya (2006), no livro "Abastecimento de Água", e por Gomes (2009), no livro "Sistemas de Abastecimento de Água".

#### 2.2.3.3 Normas Técnicas

Apesar de não apresentarem obrigatoriedade legal, com exceção das referenciadas por uma norma jurídica, as normas indicam as ações e fixam as condições exigíveis a serem observadas em situações específicas.

As Normas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) relativa à SAA são basicamente oito, que normatizam cada uma das componentes do sistema. Contudo, no que tange projetos de rede de distribuição de água a norma de interesse é a NBR 12.218 de 1994 (Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público), que traz como complementares as normas NBR 12.211 de 1992 (Estudo de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água - Procedimento) e a

NBR 12.217 de 1994 (Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento).

#### 2.2.3.4 Elaboração de projetos de rede de distribuição

Tsutiya (2006) recomenda um roteiro para a elaboração de projetos de rede de distribuição de água, que é composto das seguintes etapas: delimitação da área a ser atendida; estudo demográfico; concepção do sistema de distribuição, considerando estudos das zonas de pressão, de setorização e o traçado da rede; seleção dos pontos de concentração de vazões; extensão dos trechos; áreas de influência dos nós; determinação das vazões específicas, concentradas, nos trechos e nos hidrantes; e, por fim, o projeto da rede de distribuição.

A etapa desse roteiro referente à delimitação da área a ser compreendida, corresponde a uma parte da própria área urbanizada ou mesmo a uma área de expansão prevista, considerando-se um ou mais cenários esperados de ocupação urbana. Essa etapa se constitui de um estudo independente que deve posteriormente ser considerado na elaboração de um projeto de um SAA. O geoprocessamento tem sido cada vez mais considerado uma excelente opção para a formulação de cenários.

### 2.3 GEOPROCESSAMENTO

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, uso e cobertura do solo, fauna e vegetação sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isso era feito apenas em documentos e mapas em papel, impedindo uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Na segunda metade do século XX, com o desenvolvimento da Tecnologia da Informação – TI –, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento (Câmara *et al.*, 2001).

Segundo Câmara e Davis (2001), Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo particular. As atividades envolvendo o Geoprocessamento são executadas através de sistemas específicos, mais comumente chamados de Sistemas de Informações Geográficas – SIGs.

### 2.3.1 Sistema de Informações Geográficas – SIG

Os sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas de informação construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para tratá-los (Câmara *et al.*, 1997).

A ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, ou Instituto de Pesquisas de Sistemas Ambientais – (1992, *apud* Santos *et al.*, 2010), renomada empresa norte-americana na área de informações geográficas, oferece as seguintes definições de SIG:

- Um sistema de computação capaz de manter e usar dados que descrevem lugares da superfície terrestre;
- Uma ferramenta de computação para o mapeamento e análise de fatos e eventos que ocorrem na Terra;
- Uma coleção organizada de equipamentos, programas e informações espaciais, projetada para efetivamente capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informações geograficamente referenciadas;
- Uma tecnologia que integra operações de banco de dados comuns, tais como consulta e análise estatística, com os benefícios de visualização e análise geográfica oferecidos pelos mapas.

De acordo com Câmara *et al.* (1997), um SIG é composto por cinco componentes (Figura 2.8), a saber:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;

- Funções de processamento gráfico de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados.

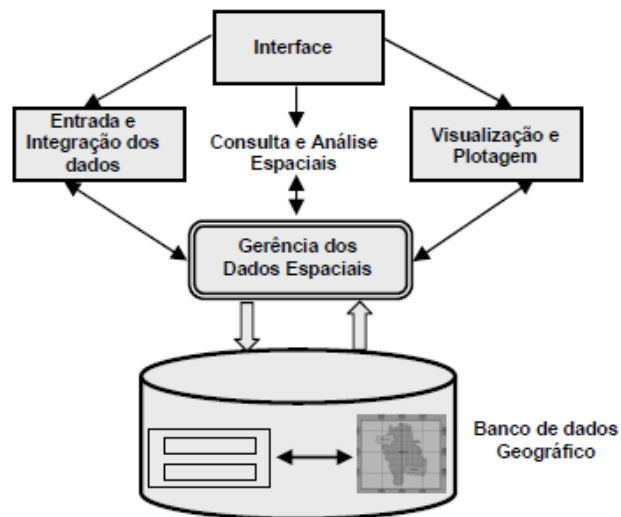


Figura 2.8 – Arquitetura de um SIG  
(Assad e Sano, *apud Santos et al.*, 2010)

Os dados tratados em um SIG podem ser de diversas fontes e formatos, com relações espaciais entre si. Esses dados podem ser genericamente separados em mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, imagens e modelos digitais de terreno (MDT) (Nascimento, 2008), detalhados abaixo:

a) Mapas temáticos contêm regiões geográficas definidas por um ou mais polígonos, os quais demarcam a ocorrência espacial de um tema, por exemplo, o uso do solo e a aptidão agrícola de uma região, os dados são representados na forma matricial (*raster*) ou vetorial. Na representação matricial os dados são armazenados em forma de matriz. O mapa é dividido em células de tamanho fixo, e cada célula terá um valor correspondente ao tema mais frequente naquela localização espacial (Câmara e Queiroz, 1998). O formato vetorial é representado por pontos, linhas e polígonos.

b) Mapas cadastrais ou mapas de objetos, em que, ao contrário do mapa temático, cada elemento é um objeto geográfico, que possui atributos e pode estar conexo a várias representações gráficas (Câmara e Queiroz, 1998).

c) Mapa de redes é composto por dados associados a serviços de utilidade pública, como água, luz, telefone, redes de drenagem ou malha viária (Câmara e Queiroz, 1998).

d) Imagens representam formas de captura indireta da informação espacial, obtidas por meio de satélites, fotografias aéreas ou *scanners* aerotransportados (Câmara e Queiroz, 1998).

e) MDT é uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculado a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno representado pode ser variado (Burrough, 1986).

Um mapa em um SIG consiste de dados espaciais apresentados por um documento geográfico georreferenciado com uma determinada projeção e dados de atributos tabelados. Os dados espaciais no SIG incluem dados de geo-campos e geo-objetos. Os dados de geo-campos são apresentados com variações espaciais contínuas das áreas ocupadas pelo tema. Os dados de geo-objetos têm atributos não espaciais representados por tabela e são associados a uma área ou um ponto específico no mapa (Liu, 2006 *apud* Nascimento, 2008).

#### 2.3.1.1 Introdução ao Sistema ArcGis

Na elaboração e avaliação dos mapas, majoritariamente é usado o sistema ArcGis, desenvolvido pela ESRI. O sistema ArcGis é frequentemente escolhido porque, apesar de ser uma ferramenta comercial, são disponibilizadas versões *trials* no site do desenvolvedor e é o SIG mais usado no mundo.

O ArcGis é um sistema fundamentado sobre uma avançada modelagem de dados georreferenciados, orientada para a representação de realidades geográficas, utilizando-se para essa finalidade, de feições vetoriais, alimétricas, células ou grids, dentre outros tipos de dados. Um dos pontos fortes é a sua diversidade de aplicações em diferentes áreas do conhecimento, apresentando um caráter multidisciplinar, possibilitando o uso de ferramentas específicas para cada atividade a ser executada, sendo dispensável a utilização de outros sistemas (Santos *et al.*, 2010).

### **2.3.2 SIG na Construção de Cenários Urbanos**

A análise espacial do território urbano tem contribuído para nortear a tomada de decisões no que diz respeito à gestão do uso e ocupação do solo urbano e à consequente intervenção no espaço na definição de políticas públicas que regulem o uso e ocupação desses espaços (Nascimento *et al.*, 2009).

As novas tecnologias de informação e de tratamento de dados espaciais digitais (redes, Internet, computação gráfica, comunicação, imageamento remoto e geoprocessamento, entre outras) se tornaram instrumentos indispensáveis ao planejamento ambiental, à medida que permitem, além da espacialização da informação, maior acessibilidade, precisão e velocidade na obtenção e processamento dos dados essenciais às análises (Nascimento, 2008).

Para Medeiros e Câmara (2001), na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço devem incluir a análise dos diferentes componentes do meio ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e o inter-relacionamento destes. Neste contexto, vêm se destacando o uso do Geoprocessamento e suas ferramentas.

## **2.4 ANÁLISE ESPACIAL MULTICRITÉRIO**

Moreira *et al.* (2001) concebem análise espacial como uma ferramenta que permite manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento suplementar como resposta. Na maioria dos projetos desenvolvidos em SIG, a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de cenários, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas.

Uma análise de multicritérios pode ser entendida como uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários



critérios, objetivando direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (Roy, 1996 *apud* Corseuil, 2006).

A integração entre os métodos de análise de multicritérios e os SIGs foi um avanço na metodologia de sobreposição de mapas para a determinação da adequação de uso da terra, sendo compreendida como um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão (Corseuil, 2006).

Há diferentes métodos de análise espacial no contexto da produção de novos mapas a partir de dados já existentes, entre os quais podem ser destacados os métodos booleano, *fuzzy* e combinação linear ponderada. O método booleano gera dados no formato temático sendo a potencialidade expressa espacialmente em forma de polígonos que representam classes (apta e inapta), já os demais métodos geram dados em formato numérico, sendo a potencialidade expressa de forma numérica (Moreira *et al.*, 2001).

O uso de sistemas de informação geográfica, enquanto ferramenta de geoprocessamento, aliado a técnica de análise de multicritérios, possibilita a padronização e a integração de dados, que normalmente são provenientes de diversas fontes, permitindo que se realize uma avaliação conjunta dos mesmos, proporcionando mais eficiência e confiabilidade no processo de tomada de decisão para promover a adequação no uso e cobertura do solo (Corseuil, 2006).

#### **2.4.1 Restrições vs. Fatores**

Antes de se discutir os métodos multicritérios, faz-se necessária a diferenciação dos tipos de critérios. No contexto dos SIGs, o processo de tomada de decisão abrange diversas definições como: a decisão propriamente dita, as restrições, os fatores e a regra de decisão. Assim, uma decisão é uma escolha entre várias alternativas, fundamentada num determinado critério, o qual representa uma condição que pode ser quantificada ou avaliada (Corseuil, 2006).

Segundo Weber e Hasenack (2003), um critério é uma base mensurável e avaliável para uma decisão, podendo ser de natureza restritiva ou relativa. As restrições são os critérios que limitam as alternativas que estão sendo consideradas, excluindo áreas e delimitando espacialmente as possibilidades de escolha. De modo aplicado, as restrições são áreas com limitações legais e/ou ambientais que não são aptas para determinado uso.

Já os critérios de natureza relativa, ou fatores, são aqueles que apresentam certo grau de capacidade para uma alternativa específica, para a atividade considerada. Estes representam áreas que variam espacialmente seu grau de aptidão (Weber e Hasenack, 2003).

#### **2.4.2 Método Booleano**

A modelagem segundo operadores de lógica booleana em SIG é análoga à sobreposição de mapas em formato analógico em mesa de luz (*overlay*), método tradicionalmente utilizado em estudos geológicos (Moreira *et al.*, 2001).

As regras de associação booleanas são baseadas na teoria dos conjuntos, ou seja, determinado objeto (ou contexto) atende ou não a certa regra, não existindo condição intermediária para esse fato (Figura 2.9). O resultado é expresso de forma binária, com “0” (hipótese não satisfeita) e “1” (hipótese satisfeita), não sendo possível a qualidade talvez (Nascimento *et al.* 2009; Moreira *et al.*, 2001).

O método é bastante utilizado em diferentes tipos de estudos desenvolvidos em SIGs graças a sua simplicidade. No entanto, os limites rígidos podem ser problemas em algumas aplicações, pois nem sempre representam os fenômenos naturais corretamente. O ideal, para critérios que apresentem importâncias relativas desiguais no espaço, é a associação de pesos diferentes (Ruhoff, 2004; Moreira *et al.*, 2001).

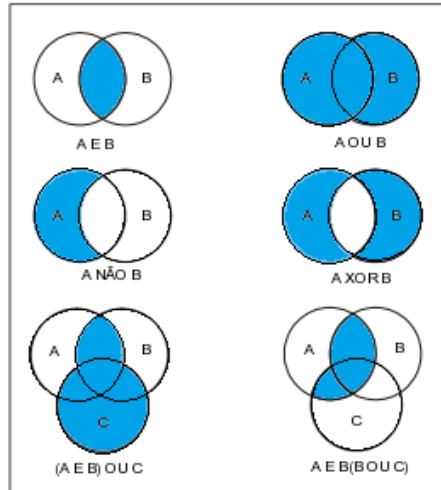


Figura 2.9 – Diagrama de Venn com operações booleanas (Burrough e McDonnell, 1998)

### 2.4.3 Método *Fuzzy*

A modelagem baseada em lógica *fuzzy*, também conhecida como lógica nebulosa, tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes (Burrough e McDonnell, 1998).

A lógica *fuzzy* é baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy*. A teoria dos conjuntos *fuzzy* ajuda a lidar melhor com atributos qualitativos, representando uma ótima ferramenta para modelar termos e relações imprecisos comumente utilizados por seres humanos em comunicação e compreensão.

De acordo com Ruhoff (2004), um benefício das modelagens baseadas em lógica *fuzzy* é a habilidade de codificação de conhecimentos inexatos, numa forma que se aproxima muito ao processo de tomada de decisão. Além do mais, é vastamente aceito que muitas relações naturais no mundo real sejam intrinsecamente *fuzzy* em vez de booleanas.

Para Burrough e McDonnell (1998), a lógica *fuzzy* é uma metodologia de caracterização de classes que não possuem limites rígidos ou estáticos. Tais conjuntos lidam com conceitos inexatos, sendo indicados para estudos que apresentam ambiguidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos. A

diferença de fronteiras entre os conjuntos *fuzzy* e booleano está representada na Figura 2.10.

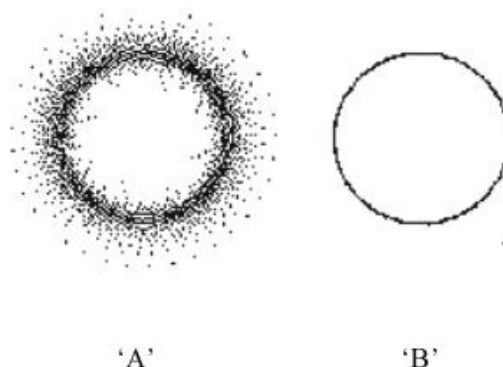


Figura 2.10 – Diferença de fronteira entre conjuntos *fuzzy* (A) e booleano (B)

(Moreira *et al.*, 2001)

Como descreve Burrough e McDonnell (1998), existem diferentes tipos de funções de associação *fuzzy*, sendo as mais comuns as funções linear e senoidal. A função linear é dada por uma linha inclinada que varia do menor valor de pertinência até o maior linearmente, ou seja, varia de 0 a 1 até que a compatibilidade entre os critérios for completa.

A Figura 2.11 mostra um gráfico que revela como se dá a variação de pertinência entre fatores pelo método *fuzzy* linear. Onde o eixo das coordenadas retorna os valores da função e o eixo das abscissas é a variação de comprimento. O intervalo entre  $L_i$  e  $L_f$  denotam o valor da distância de interferência entre A e B.  $L_m$  traz a média da distância de interferência, e seria, no caso da lógica booleana, a fronteira entre os fatores. A inclinação da reta define a largura da região de transição *fuzzy* e permite a retirada da equação linear a partir da Equação 2.4 – equação reduzida da reta.

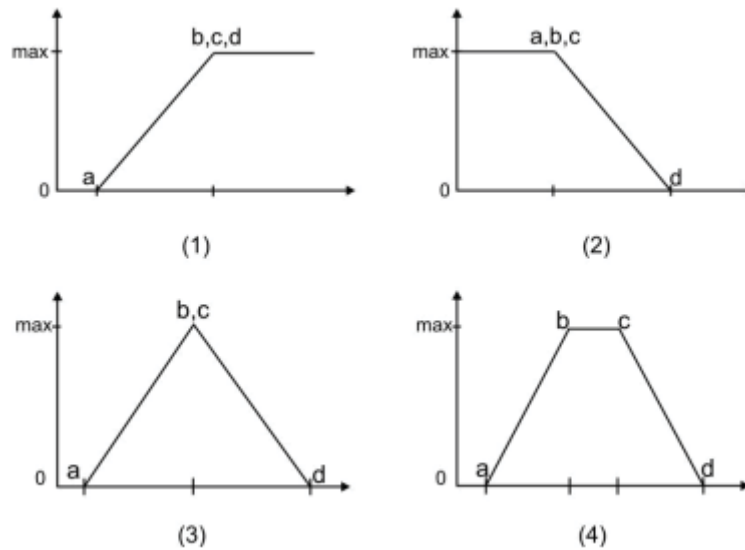


Figura 2.11 – Função *fuzzy* linear  
(Vinha, 2011)

$$ax + b = f(x) \quad (\text{Equação 2.4})$$

Em que,  $a$  é o coeficiente angular da reta; e  $b$ , o valor de  $f(x)$  quando  $x$  for igual a zero.

#### 2.4.4 Método da Combinação Linear Ponderada

No método de Combinação Linear Ponderada, o primeiro passo consiste em padronizar os fatores (critérios contínuos) para uma escala numérica comum, depois atribuir pesos a cada um, sendo o somatório dos pesos igual a 1. Por fim, os fatores são combinados por meio de uma média ponderada, como mostra a Equação 2.5 (Corseuil, 2006).

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \quad (\text{Equação 2.5})$$

Em que,  $S$  é o valor final (nota atribuída ao fator considerado);  $W_i$ , o peso do fator  $i$ ;  $X_i$ , o fator padronizado; e  $n$ , o número de fatores.

O resultado é uma superfície contínua que representa o grau de aptidão de um determinado local. Nesse método, além dos fatores, é possível adicionar as restrições, onde os primeiros têm a função de compensação entre os critérios e os segundos de exclusão (Eastman, 2003 *apud* Corseuil, 2006). Nos casos em que se aplicam as restrições, o procedimento consiste em multiplicar o valor calculado para os fatores pelas restrições, como mostra a Equação 2.6.

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \cdot \prod_{j=1}^k C_j \quad (\text{Equação 2.6})$$

Onde, S é o valor final (nota atribuída ao fator considerado); W<sub>i</sub>, o peso do fator i; X<sub>i</sub>, o fator padronizado; n, o número de fatores; C<sub>j</sub>, o valor da restrição (0 ou 1); e k, o número de restrições.

O método de Combinação Linear Ponderada apresenta como principal propriedade a possibilidade de efetuar uma compensação entre os fatores por meio da aplicação de pesos ponderados, chamados de pesos de fatores. Isto significa que, uma qualidade ruim (valor muito baixo) atribuída a um determinado critério pode ser compensada por um conjunto de boas qualidades (valores mais altos) aplicadas a outros (Corseuil, 2006).

#### **2.4.5 Técnica AHP – Processo Analítico Hierárquico**

As ferramentas de suporte à decisão são bastante úteis na hora de escolher qual a forma de combinação de dados mais adequada para os propósitos do trabalho, pois ajudam a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados. Uma das técnicas mais úteis é o Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process – AHP*), desenvolvida por Saaty (1977, *apud* Santos *et al.*, 2010; Nascimento *et al.*, 2009; Nascimento, 2008; Corseuil, 2006; Moreira *et al.*, 2001), e considerada como sendo um dos métodos mais promissores e comumente usados no contexto do processo de tomada de decisão.

O AHP consiste numa técnica de escolha baseada na lógica de comparação pareada. Nesse método, os diferentes critérios que influenciam a tomada de decisão são comparados

dois a dois, sendo atribuído um valor de julgamento à relação entre eles, de acordo com uma escala pré-definida (Moreira *et al.*, 2001).

Saaty (1977, *apud* Santos *et al.*, 2010) propôs uma escala fundamental de comparação entre pares de critérios que contém nove pontos, os quais estão exemplificados na Tabela 2.2. Essa relação é utilizada como dado de entrada em uma matriz de comparação pareada, onde são calculados os autovalores e autovetores da matriz.

Tabela 2.2 – Escala de comparadores  
(Saaty, 1977 *apud* Santos *et al.*, 2010)

| VALORES    | IMPORTÂNCIA MÚTUA                     |
|------------|---------------------------------------|
| <b>1/9</b> | Extremamente menos importante que     |
| <b>1/7</b> | Muito fortemente menos importante que |
| <b>1/5</b> | Fortemente menos importante que       |
| <b>1/3</b> | Moderadamente menos importante que    |
| <b>1</b>   | Igualmente importante a               |
| <b>3</b>   | Moderadamente mais importante que     |
| <b>5</b>   | Fortemente mais importante que        |
| <b>7</b>   | Muito fortemente mais importante que  |
| <b>9</b>   | Extremamente mais importante que      |

Segundo Santos *et al.* (2010), a fase de escolha dos valores, com base na escala de comparadores, é um dos momentos mais importantes do processo. Dessa forma, propõe-se que sejam adotados um ou mais dos procedimentos abaixo:

- Ao comparar um critério com outro, pode-se definir a escala de importância simplesmente com base em experiência e visitas de campo;
- Pode-se, por meio do levantamento bibliográfico, comprovar que um critério é mais relevante que outro;
- Uma equipe multidisciplinar, trabalhando em grupo, com visitas de campo, debates, entre outras atividades, pode definir a escala que mais se aproxima da realidade.

A escolha da matriz é feita a partir da razão de consistência (RC) e dos pesos de compensação que melhor representam o que se considera como ordem de importância dos critérios, de acordo com o objetivo do estudo. A RC indica a probabilidade de que os valores de comparação entre os fatores tenham sido gerados aleatoriamente, sem uma lógica desenvolvida. Os valores de RC devem estar sempre abaixo de 0,10. No caso de estarem acima deste valor, a matriz deve ser reorganizada, alterando os valores de comparação entre os critérios (Saaty 1977, *apud* Nascimento, 2008). O cálculo da RC é feito a partir da Equação 2.7 (Santos *et al.*, 2010).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{Equação 2.7})$$

Em que, IR é o índice randômico de consistência, que pode ser extraído da Tabela 2.3; IC, o índice de consistência, calculado pela Equação 2.8.

Tabela 2.3 – Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n (Santos *et al.*, 2010)

| n  | 2   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|----|-----|------|------|------|------|------|
| IR | 0,0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 |

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (\text{Equação 2.8})$$

Em que,  $n$  é o número de variáveis testadas, correspondendo ao número de colunas ou de linhas; e  $\lambda_{\max}$ , o autovetor, calculado por:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (\text{Equação 2.9})$$

Onde,  $[Aw]_i$  é a matriz resultante do produto da matriz recíproca pela matriz dos pesos calculados ( $w_i$ ); e  $w_i$  é o peso de cada critério.



## 2.5 MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Tratam-se de modelos de simulação hidráulica aquelas ferramentas computacionais desenvolvidas para representação dos sistemas físicos, baseando-se em leis que regem o escoamento dos fluidos. Através das simulações hidráulicas podem ser feitas diversas análises, inclusive sobre o comportamento da operação de sistemas de abastecimento de água.

Com relação a isso, Gomes (2009) argumenta que a importância do emprego de um modelo de simulação na fase do planejamento do sistema de abastecimento é inquestionável. O projetista poderá antever a inúmeras situações operacionais do sistema e assim optar por alternativas de projeto que possam melhorar a qualidade do serviço, associada à minimização dos custos de energia.

Há uma diversidade de modelos de simulação hidráulica aplicáveis a SAA, contudo um deles se destaca dos demais por apresentar boa qualidade e ser de domínio público. Trata-se do EPANET, programa gratuito criado pela agência de proteção ambiental dos EUA, a USEPA (*U.S. Environmental Protection Agency*).

### 2.5.1 Epanet

O EPANET é um sistema computacional que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada. O EPANET permite obter os valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação (Rossman, 2000).

O programa foi criado para ser uma ferramenta de apoio à avaliação de sistemas de distribuição de água, podendo ser utilizados em diversas situações como o estabelecimento de cenários de projeto para a expansão de uma rede existente, a calibração de modelos hidráulicos, o decaimento do cloro residual na rede, entre outras situações onde é necessária a realização de simulações de sistemas pressurizados.

O Epanet estava disponível inicialmente em inglês, porém apresenta versões em diversos outros idiomas, inclusive português do Brasil. A versão traduzida para português foi feita e disponibilizada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, da Universidade Federal da Paraíba - LENHS UFPB.

A visualização dos dados de entrada e dos resultados da simulação através do programa pode ser feita de diferentes formas, que incluem vistas da rede, tabelas, gráficos, e ainda formas de animação gráfica. No entanto, a falta de um ambiente gráfico que permita a digitalização da rede sobre uma imagem de satélite, bem como a obtenção das características espaciais dos nós pode, conforme afirma Faria (2009), pode ser citada como ponto negativo do sistema, estando a solução desse na integração do EPANET com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

#### 2.5.1.1 Simulação hidráulica

Para apoio à simulação hidráulica, o EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo, onde se destacam como principais características a dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada; a opção entre três as fórmulas para o cálculo das perdas de carga; modelagem de bombas de velocidade constante ou variável, calculando-se a energia gasta e o respectivo custo; modelagem dos principais tipos de válvulas; a consideração de múltiplas categorias de consumo nos nós, incorporando os padrões de variação no tempo; entre outras.

As três formulações para a determinação da perda de carga hidráulica na tubulação são as propostas por: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach (Fórmula Universal) e Chezy-Manning. Ambas as fórmulas se baseiam na expressão verificada na Equação 2.10 para o cálculo da perda de carga ao longo da tubulação.

$$h_L = A \cdot q^B \quad (\text{Equação 2.10})$$

Onde  $h_L$  é a perda de carga (unidade de comprimento);  $q$ , a vazão (volume/tempo);  $A$ , o termo da perda de carga; e  $B$ , o expoente da vazão. As expressões para o termo de

perda de carga e os valores para o expoente da vazão de cada fórmula estão descritas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Fórmulas para o cálculo da perda de carga contínua em escoamentos pressurizados (Sistema SI) (Rossman 2000, modificado)

| FÓRMULA                | TERMO DE PERDA DE CARGA (A)                              | EXPOENTE DE VAZÃO (B) |
|------------------------|--|-----------------------|
| <b>Hazen- Williams</b> | $10,674 \cdot C^{-1,852} \cdot d^{-4,871} \cdot L$       | 1,852                 |
| <b>Darcy-Weisbach</b>  | $0,0827 \cdot f(\varepsilon, d, q) \cdot d^{-5} \cdot L$ | 2                     |
| <b>Chezy-Manning</b>   | $10,29 \cdot n^2 \cdot d^{-5,33} \cdot L$                | 2                     |

Onde C é o coeficiente da fórmula de Hazen-Williams;  $\varepsilon$ , a rugosidade absoluta (mm); f, o fator de Darcy-Weisbach; n, o coeficiente de rugosidade de Manning; d, o diâmetro da tubulação (m); L, comprimento da tubulação (m); e q, vazão (m<sup>3</sup>/s).

Cada uma dessas fórmulas apresenta uma especificidade própria, no entanto a de Darcy-Weisbach, também conhecida como fórmula universal, é, segundo Rossman (2000), a teoricamente a mais correta, sendo aplicável a todos os regimes de escoamento e a todos os líquidos. Além de ser aquela que a Norma NBR 12.218 de 1994 no item 5.7.3 aponta como a preferível.

#### 2.5.1.2 Modelagem hidráulica

A modelagem para obtenção das cargas hidráulicas e vazões ao longo da rede é feita resolvendo-se, simultaneamente, a equação da continuidade (conservação da massa), para cada nó, e a equação da conservação da energia, para cada trecho. Este procedimento, designado por “balanço hidráulico” da rede, requer a utilização de técnicas iterativas para resolver as equações não lineares envolvidas. O EPANET emprega o “Método do Gradiente” para atingir este objetivo (Rossman, 2000).

O "Método do Gradiente" é um algoritmo iterativo para obtenção das condições de equilíbrio hidráulico na rede num dado instante, essas condições são caracterizadas pelas

equações da continuidade e conservação da energia e pela relação entre as vazões e a perda de carga. Sua execução dentro do programa se dá da seguinte forma: A priori o modelo arbitra uma primeira distribuição de vazões nas tubulações, que não necessariamente têm que satisfazer as equações de continuidade nos nós. Com as vazões arbitradas se inicia a iteração. Em cada iteração, são obtidas novas cotas piezométricas, a partir das quais são calculadas novas vazões. O procedimento é feito até que a soma de todas as variações de vazão (em valores absolutos) relativamente à vazão total em todos os trechos esteja dentro da tolerância especificada.

A equação da continuidade, utilizada na modelagem hidráulica de redes, afirma que a taxa de decréscimo da massa dentro do volume de controle é igual à taxa de efluxo líquido da massa através da superfície de controle (Sissom e Pitts, 1979). Em escoamento permanente a equação da continuidade passa a ser a descrita na Equação 2.11.

$$\int_{CS} \rho V \cdot dA = 0 \quad (\text{Equação 2.11})$$

Onde  $V$  é a velocidade;  $\rho$  é o valor médio da densidade; e  $A$ , a área. Quando aplicada a sistemas de distribuição de água, essa equação passa a determinar que a soma das vazões afluentes (positivas) deve ser igual à soma das vazões efluentes (negativas), já que não há armazenamento nos nós (Couto, 2012). Sendo essa a primeira condição a qual as vazões  $Q$  nos trechos da malha devem obedecer à Equação 2.12.

$$\sum Q = 0 \quad (\text{Equação 2.12})$$

Outra condição a qual está submetido o dimensionamento de redes malhadas é que a soma das perdas de carga  $h_p$  em cada malha deve ser nula, uma vez que a pressão em cada nó deve ser a mesma (Equação 2.13), independentemente do trajeto adotado para alcançá-lo (Couto, 2012).

$$\sum h_p = 0 \quad (\text{Equação 2.13})$$

### 3 METODOLOGIA

Com vista a atender os objetivos propostos e tendo por base o referencial teórico, formulou-se a metodologia a ser descrita, e cujas etapas estão, resumidamente, esquematizadas no fluxograma da Figura 3.1.

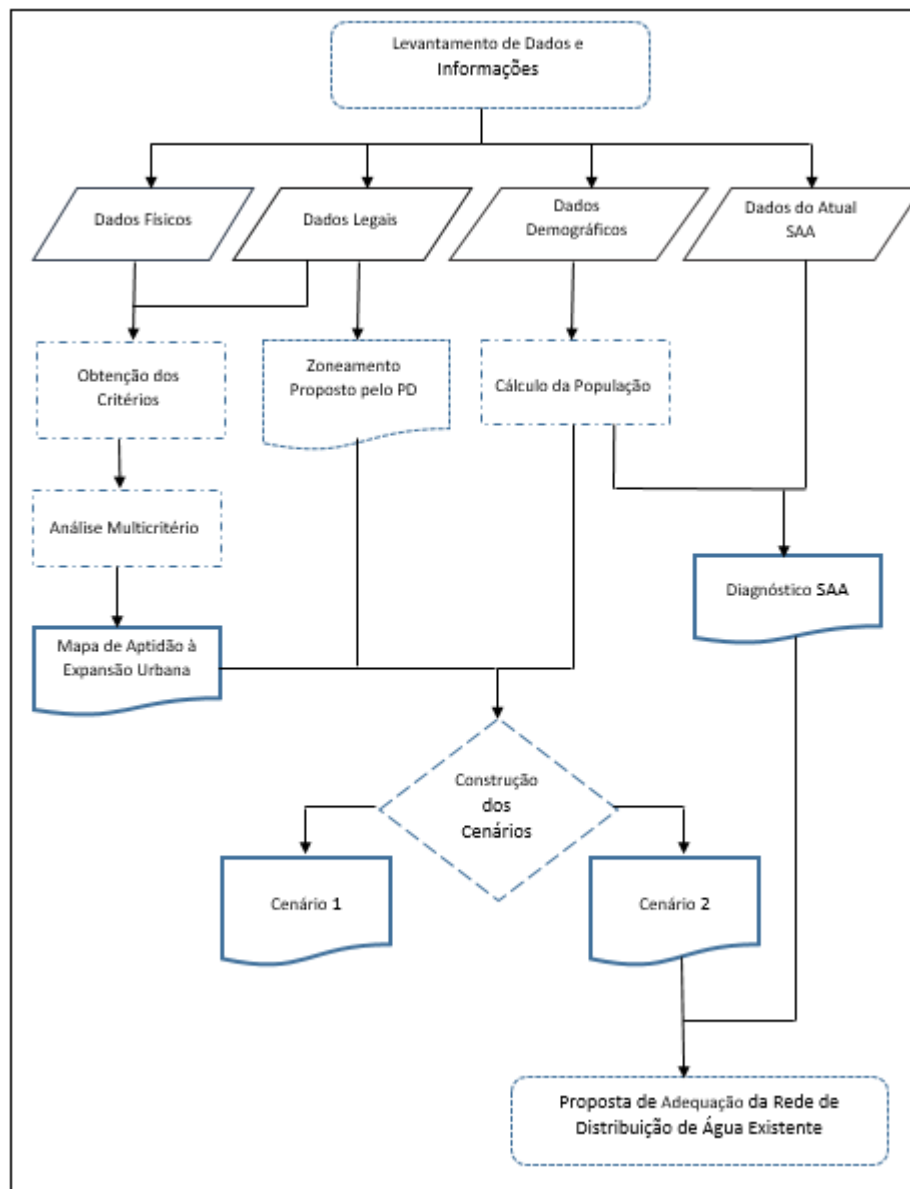


Figura 3.1 – Fluxograma metodológico

### 3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES

Para a realização do diagnóstico e das demais etapas da metodologia, foi feito, a priori, o levantamento de dados necessários. Tais dados, na maioria secundários, foram divididos em quatro grandes grupos, de forma a facilitar sua apresentação. São eles: dados físicos, legais, demográficos e do atual SAA.

#### 3.1.1 Dados Físicos

Os dados ditos físicos são aqueles relativos ao próprio meio físico em estudo, tais como: imagens de satélite, mapa de pedologia e geologia, modelo numérico de terreno, entre outros. Esses dados e suas fontes estão elencados abaixo.

Os mapas de pedologia e geologia são do Zoneamento Ecológico-Econômico da Área do Entorno do Distrito Federal (IBGE/SEPLAN – Secretaria de Planejamento e Coordenação de Goiás –, 1994) e foram obtidos do *site* do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG). Possuem uma escala de 1:250.000 e o sistema de coordenadas geográficas oriundo é o WGS-84.

As imagens multiespectrais utilizadas no estudo eram dos satélites *RapidEye* e do *Google Earth Pro*. A partir do programa *Google Earth Pro* foram obtidas cinco imagens, referentes ao ano de 2015, e com resolução espacial de cerca de 1,2 metros.

A imagem de média resolução dos satélites *RapidEye*, por sua vez, foi obtida de outubro de 2011, junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA). Os satélites *RapidEye* formam uma constelação de cinco microssatélites lançada em 2008. Foram desenvolvidos pela empresa *RapidEye AG*, localizada na Alemanha (Embrapa, 2015).

Estes satélites possuem uma resolução espacial de 5 metros multiespectral, registrando em 5 faixas espectrais nas regiões do visível e do quase infravermelho. Além disso, a constelação pode obter imagens aproximadamente 4 milhões de quilômetros quadrados da superfície da Terra por dia (Embrapa, 2015).

O MDT usado é do satélite sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, ou Radiômetro de Reflexão e Emissão Termal Avançado Orbital) e foi obtido do *site* da NASA. O ASTER possui 14 canais, abrangendo as regiões do visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e infravermelho termal e tem uma resolução espacial de 30 metros (NASA, 2013).

As imagens multiespectrais e o MDT foram georreferenciados com base no sistema de coordenadas projetadas SIRGAS 2000, zona UTM (Universal Transversa de Mercator) na latitude padrão de 23° Sul.

### **3.1.2 Dados Legais**

Os dados legais, que podem ser nacionais, estaduais ou locais, apresentam informações importantes para se legitimar a aplicação da metodologia. Grande parte das leis, resoluções e normas que foram considerados estão pré-apresentados no capítulo de referencial bibliográfico. Ademais dos dados mencionados, também foram obtidos o Plano Diretor (PD) do Município de Formosa, referente ao ano de 2003, e seus respectivos mapas em formato DWG, tais informações foram disponibilizadas pela Prefeitura de Formosa.

### **3.1.3 Dados Demográficos**

A fonte utilizada para o levantamento dos dados demográficos foi o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Tendo sido levantados os seguintes dados: última população do município apurada pelo censo, taxas de mortalidade e fecundidade específicas, e a constante de migração.

### **3.1.4 Dados do atual SAA**

Os dados inerentes ao SAA existente foram apurados com o intuito de se atender ao que determina a Norma NBR 12.211 de 1992 no que tange à necessidade de um

diagnóstico atual do sistema, visando o aproveitamento das unidades já existentes. Diversas fontes foram utilizadas para se auferir tais dados, a serem citados a seguir.

O cadastro do SAA, atualizado em 2009, foi obtido junto à Prefeitura de Formosa. As informações quanto à capacidade de algumas das unidades foram extraídas do parecer feito para o serviço de água e esgoto de Formosa, em 2010, e da página do ATLAS da ANA. Finalmente, as informações a respeito de volumes produzidos e consumidos pelo atual sistema foram consultadas através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

### **3.2 CÁLCULO DEMOGRÁFICO**

Para a determinação das vazões de projeto, bem como da expansão da malha urbana, é necessário que haja uma estimativa da população futura. Estimativa essa que dependerá do crescimento demográfico a ser observado nesse período, o que, apesar de ser um evento complexo e sujeito a uma série de fatores, pode ser aferido através da aplicação de algum dos métodos descritos no item 2.2.3.3.

O primeiro passo para a realização de um estudo demográfico, no entanto, é a determinação do período para o qual se dará a previsão populacional, período esse que é indicado através do horizonte temporal. No presente estudo, o horizonte temporal adotado foi o de 35 anos, que corresponde ao período que vai desde o ano de 2015 até o ano de 2050. A opção por esse horizonte temporal, maior do que os comumente aplicados em projetos de saneamento, se deve ao caráter de planejamento do estudo em questão.

Feito isso, prosseguiu-se a escolha do método a ser aplicado, que se deu tendo por base o argumento apresentado no Plano Diretor de Formosa (2004), que diz que “a metodologia para projetar populações, por idade e sexo, que permite ter certo controle sobre o resultado final, e onde os efeitos e consequências na composição e volume da população podem ser explicados demograficamente, constitui o método dos componentes demográficos”.



Dessa maneira, para se proceder o estudo demográfico optou-se pelo método dos componentes demográficos, cuja aplicação se consiste em estimar quinquenalmente a população através do emprego de taxas específicas de fecundidade, mortalidade e migração aos diferentes grupos etários. Para a execução do método, criou-se, através do *software* Matlab, um programa capaz de aplicar a metodologia aos dados levantados.

A vantagem de se criar um programa como esse é a possibilidade de se aplicar o método a diferentes dados de entrada e sob diferentes horizontes temporais, de forma rápida e fácil. O código do referido programa, bem como a descrição mais detalhada do método estão descritos no Anexo A.

Com relação aos dados de entrada utilizados, verificou-se uma grande dificuldade na obtenção de informações para o mesmo período e escala. Com isso, decidiu-se adotar os dados que, dentre os disponíveis, fossem mais adequados. O que resultou nos seguintes dados:

- População de Formosa-GO em 2010, separada por sexo e idade (Censo);
- Dados de migração de Formosa-GO em 2010, separada por sexo (Censo);
- Taxa de fecundidade específica, do Centro-Oeste, relativa ao ano de 2000;
- Taxa de mortalidade de Goiás em 2010, separada por sexo e idade.

A respeito do que declara Alcantara (2002, *apud* Tsutiya) de que “a projeção da população para dimensionamento de um sistema de abastecimento de água deve levar em consideração as especificidades da área de projeto, suas características socioeconômicas, urbanísticas e a dinâmica na ocupação do solo”, serão construídos dois cenários de distribuição da população prevista, respeitando-se o zoneamento proposto pelo PD e a aptidão ambiental.

### **3.3 VERIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DE OCUPAÇÃO**

Tendo em vista que o Plano Diretor adotado compreende o horizonte temporal de 2003 até 2020, o período, ao qual se aplica o presente estudo, se inicia a cerca de três

quartos do horizonte do PD. Se fazendo necessária uma verificação da ocupação urbana no ano de 2015, início do período de estudo. O objetivo dessa etapa é averiguar o status de adequação do crescimento urbano ao zoneamento proposto pelo PD, até essa data, evidenciando seu potencial de adensamento (vazios urbanos) e ocupações irregulares.

Nesse sentido, foi gerado um mapa temático de uso e ocupação do solo através da metodologia proposta por Almeida e De Carvalho (2012), que será mais bem descrita no tópico 3.4. E foi utilizado, para tanto, o mosaico gerado das imagens de alta resolução, obtidas através do *Google Earth Pro*.

### **3.4 MAPA DE APTIDÃO À EXPANSÃO URBANA**

O mapa de aptidão à expansão urbana tem por objetivo definir espacialmente, dentro da área de estudo, as regiões mais propícias à ocupação urbana de acordo com as características físicas do meio. Para sua formulação, inferiu-se que a legislação contida no item 2.3.2 e as potencialidades e fragilidades do meio físico, dados da literatura e de conhecimentos adquiridos, serão respeitadas rigorosamente.

Haja vista as divergências nos conceitos de expansão urbana, considera-se nesse trabalho como expansão urbana qualquer transformação territorial que tenha por objetivo ou por efeito: o aumento da área total do solo urbanizado e a ampliação do perímetro urbano. Essa definição abrange praças e zonas especiais – para construção de escolas, comércios, hospitais, entre outras –, não se tratando, então, apenas de loteamentos particulares.

O procedimento utilizado na criação do mapa de aptidão à ocupação urbana pode assim ser elencado:

- I. Definição dos critérios a serem utilizados;
- II. Obtenção e elaboração dos mapas temáticos;
- III. Escolha do tipo de análise espacial;
- IV. Padronização dos fatores, no intervalo de 1 a 5, e das restrições, em 0 ou 1;
- V. Ponderação dos fatores a partir da técnica AHP;

- VI. Obtenção do modelo matemático para cruzamento dos critérios;
- VII. Elaboração do mapa com áreas propícias à ocupação urbana.

### 3.4.1 Obtenção dos Critérios

Na elaboração e avaliação dos mapas, utilizaram-se os seguintes SIGs: SPRING 5.2.6, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); e ArcGis 10.2.2 *trial*, desenvolvido pela ESRI.

Para utilização da análise multicritério, foram selecionados seis critérios. Estes critérios foram escolhidos de acordo com a disponibilidade de dados e com aqueles abordados por Dias *et al.* (2004), Corseuil (2006), Nascimento (2008), Carmo *et al.* (2011) e Jhon *et al.* (2013). Desta forma, consideraram-se como critérios: pedologia, geologia, declividade, distância da infraestrutura existente, uso e cobertura do solo, e áreas de restrições ambientais e legais.

O mapa de distância da infraestrutura existente foi feito no ArcGis a partir das informações de perímetro urbano, da imagem do satélite *RapidEye* e de rodovias, contidos no Plano Diretor de Formosa, em formato DWG, convertidos para formato vetorial. Para definição das áreas de influência, delimitou-se a área do perímetro urbano proposto que estava efetivamente adensada, ou seja, excluindo as áreas do perímetro urbano que ainda não se encontravam ocupadas, a qual foi chamada de perímetro urbano adensado.

Essa delimitação do perímetro efetivamente adensado se deu pelo fato de ter sido constatado que grandes áreas destinadas à expansão urbana pelo zoneamento do PD, ainda não haviam sido ocupadas, e como a ideia deste mapa é atrair as áreas de futura ocupação para regiões próximas às áreas que já possuíssem infraestruturas, essas regiões não ocupadas foram excluídas das áreas com sistemas de serviços públicos.

Criou-se um *shapefile* – formato de armazenamento de dados vetoriais da Esri – contendo o polígono do perímetro adensado. Estabeleceu-se uma faixa radial de atração à ocupação urbana de 3 km do perímetro adensado (Nascimento, 2008), discretizada de 50

em 50 m através da ferramenta *Multiple Ringe Buffer*, do menu *Analysis*. Também foi definida uma faixa de 500 m de influência para as rodovias. Para tanto, foi usada a ferramenta *Buffer*, do menu *Analysis*.

O mapa de restrições ambientais e legais foi gerado no ArcGis respeitando-se a legislação contida no item 2.2.1. Nos casos das restrições de APP, foi usada a ferramenta *Buffer*, e para as restrições de declividade, apenas foi necessário fazer uma classificação da simbologia do mapa de declividade. Consideraram-se, também, as informações do PD para as regiões onde não é admitido crescimento urbano, são elas: zona de serviços especiais (ZSE), zonas industriais (ZI), parques urbanos, zona de proteção ambiental (ZPA) e área do exército.

O mapa de declividade foi gerado a partir do MDT, com o auxílio da ferramenta *Slope*, do menu *Spatial Analyst*, gerando uma imagem matricial com informações de declividade em porcentagem. A ferramenta *Slope* identifica a declividade a partir de cada célula de um arquivo matricial. Conforme metodologia demonstrada em Almeida e De Carvalho (2012).

O mapa de uso e cobertura do solo foi obtido a partir do processamento digital das bandas multiespectrais do Satélite RapidEye, utilizando-se os algoritmos de segmentação de imagens e o classificação supervisionada *Bhattacharya*, no SPRING, cujos passos metodológicos encontram-se em Almeida *et al.* (2010).

Define-se por treinamento a amostragem de pixels semelhantes nas imagens, podendo ocorrer de forma manual ou pelo processo de segmentação. A segmentação de imagens, por sua vez, é um método de separação automatizada da imagem que englobem pixels semelhantes nas direções X e Y do plano cartesiano (Peluzio *et al.*, 2011). Posteriormente, foi feita através do ArcGis a edição vetorial objetivando eliminar possíveis confusões pelo algoritmo utilizado.

Todas as informações relativas ao Município de Formosa, para o mapa de aptidão, foram organizadas em mapas temáticos e georreferenciadas com base no sistema de

coordenadas projetadas SIRGAS 2000, zona UTM (Universal Transversa de Mercator) 23S.

### 3.4.2 Aplicação da Análise Multicritério

A fim de delimitar os cenários futuros de ocupação, foi escolhida a análise multicritério com base no método da combinação linear ponderada, associada à técnica AHP para definição dos pesos de cada critério no mapa de aptidão à ocupação urbana de Formosa.

Antes da padronização, os critérios usados na análise em questão tiveram de ser convertidos para o formato matricial – à exceção do mapa de declividade, que já era matricial. Essa transformação foi feita a partir da ferramenta *feature to raster*, do menu *Conversion*.

#### 3.4.2.1 Padronização dos Critérios

A padronização dos critérios consiste em trazer as aptidões das classes de cada fator para um intervalo numérico comum, com o objetivo de possibilitar a comparação entre eles. Para atribuir as notas de favorabilidade à ocupação urbana, tanto para os fatores quanto para as restrições, os mapas, já em formato matricial, foram reclassificados a partir da ferramenta *Reclassify*, do menu *Spatial Analyst*. Essa ferramenta permite que dados qualitativos sejam associados a dados quantitativos, reordenando um intervalo de valores para outro alternativo – metodologia descrita por Santos *et al.* (2010).

Na avaliação da aptidão física das classes dos mapas, usaram-se as seguintes premissas:

a) Pedologia: os solos compreendem as sequências de camadas do perfil de alteração, sobrepostos ao substrato rochoso, que se desenvolvem *in situ* ou são acrescidos

de materiais transportados. A maioria das obras de engenharia tem como alicerce o solo (Tuma, 2004 *apud* Nascimento, 2008).

b) Geologia: as características geológicas estão diretamente ligadas à capacidade de suporte para a maioria das obras de engenharia (Nascimento, 2008).

c) Declividade: é a inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte e condiciona, de forma direta, o escoamento superficial de uma área. A declividade pode influenciar o desenvolvimento de feições erosivas (Silva, 2005 *apud* Nascimento, 2008).

d) Distância da infraestrutura existente: são consideradas regiões com infraestrutura aquelas onde há estrutura de saneamento básico e vias pavimentada. Tais estruturas são fundamentais à ocupação urbana.

e) Uso e cobertura do solo: está relacionada ao grau de interferência do homem. Áreas já impactadas devem ter uma aptidão maior à expansão urbana, enquanto que áreas não impactadas são menos aptas, à medida que aumenta a densidade da vegetação (Dias *et al.*, 2004).

f) Áreas de restrições ambientais e legais: são áreas que, devido às legislações existentes e ao planejamento do uso do solo do PD, não devem receber o crescimento urbano.

De acordo com as definições de fatores e restrições, discutidas no 2.3.3.1, é considerado critério restritivo apenas as restrições ambientais e legais. Nesse caso, a lógica booleana foi usada, associando-se 0 para as zonas restritas e 1 para as demais.

Os demais critérios são de limitação relativa e se classificam como fatores. As classes destes mapas receberam notas de aptidão variando na faixa de 1 a 5, indo da escassa aptidão até aptidão máxima (Tabela 3.1). As notas de cada fator foram estabelecidas de acordo com as recomendações da literatura.

A lógica *fuzzy* linear foi aplicada, de maneira discretizada, aos valores de distância de infraestruturas existentes, variando de 1, quando a distância do perímetro efetivamente adensado for igual ou maior que 3 km, até 5, nas áreas que possuem estruturas de saneamento básico e transporte – dentro do perímetro adensado e rodovias. Esta

discretização teve por objetivo tornar a transição entre as notas suave, aproximando a área de influência dos serviços públicos a uma superfície contínua.

Tabela 3.1 – Notas para aptidão

| Notas de Aptidão |         |
|------------------|---------|
| 5                | Ótima   |
| 4                | Boa     |
| 3                | Média   |
| 2                | Baixa   |
| 1                | Escassa |

Com os mapas reclassificados e em formato matricial, o passo seguinte foi encontrar o modelo matemático que permitirá o cruzamento dos critérios e a produção do mapa de aptidão à expansão urbana. Para isso, foi necessário determinar o peso, ou importância, que cada fator teve na geração do mapa final.

### 3.4.3 Ponderação dos Fatores

Os procedimentos para aplicação da técnica AHP na determinação dos pesos dos critérios, como auxílio na produção de cenários no ArcGis, foram empregados aos fatores, acordando com o método detalhado por Santos *et al.* (2010) e com o auxílio do editor de planilhas *Microsoft Office Excel 2013*. Esta fase é denominada ponderação dos fatores.

A ponderação dos fatores foi instituída de acordo com a maior ou menor influência frente a sua importância de favorabilidade à expansão urbana (Nascimento, 2008). Para confrontar a importância dos fatores, na matriz de comparação pareada, foram empregadas considerações da literatura e os conhecimentos adquiridos, como sugere Santos *et al.* (2010).

Na matriz de comparação pareada, ou matriz recíproca, defrontou-se a importância relativa que o fator da linha teve sobre o fator da coluna, de acordo com a escala da Tabela 2.2. A diagonal da matriz recíproca é sempre um, pois cada fator é tão importante quanto ele mesmo. Feito isso, foi arranjada uma matriz normalizada, similar à matriz recíproca,

onde o valor de cada célula da matriz anterior foi dividido pelo somatório da coluna correspondente.

O peso de cada fator é obtido pela média dos elementos da respectiva linha da matriz normalizada. Para verificar se os pesos encontrados eram aceitáveis, foi necessário calcular a razão de consistência através da Equação 2.7, do subitem 2.3.3.5, e verificar se estava abaixo de 0,10.

Deu-se maior importância aos fatores que mais interferem na questão socioambiental, assim como àqueles que possuem escalas maiores – e são, portanto, mais precisos. Essas considerações foram feitas na aplicação do planejamento ambiental nas áreas de futura ocupação e para analisar as áreas já ocupadas ou com projetos de loteamentos, de acordo com os cenários propostos que serão abordados no próximo subitem.

Por fim, pôde-se chegar ao modelo matemático que gerou o mapa de aptidão, baseado na Equação 2.6, do subitem 2.3.3.4, onde o peso de cada fator reclassificado foi extraído da técnica AHP. Para implementação do modelo, usou-se a ferramenta *Raster Calculator*, do menu *Spatial Analyst*, que permite o cruzamento de dados matriciais a partir de funções pré-existentes ou de equações introduzidas (Santo *et al.*, 2010).

### **3.5 CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO**

Com o objetivo de verificar a capacidade das áreas aptas do zoneamento proposto em receber diferentes distribuições demográficas possíveis, foram construídos dois possíveis cenários de ocupação. Onde o primeiro considera que o zoneamento foi ineficaz, e assim sendo, a densidade demográfica se manteve semelhante à diagnosticada pelo Plano Diretor, com a população dispersa homogeneamente pela mancha urbana. O segundo cenário, por sua vez, assume que o zoneamento proposto foi efetivo, havendo, portanto, uma diversificação da densidade populacional ao longo do perímetro urbano.



Através do mapa de aptidão obtido para a região, procedeu-se a identificação e vetorização das áreas internas ao perímetro urbano que apresentassem alguma restrição à ocupação, assim como das áreas externas ao perímetro que demonstrassem alta aptidão a urbanização. Isso foi feito, com fins de viabilizar a construção de cenários que respeitassem o estabelecido legalmente através do Plano Diretor, sem que se desconsiderassem as especificidades do ambiente.

Nesse sentido, o primeiro passo para a construção dos cenários foi a exclusão das áreas inaptas do zoneamento proposto e a transferência das áreas de APP, que estavam em zonas destinadas a uso residencial para as zonas de proteção e preservação. Ao fim, obtiveram-se novas áreas, de fato apropriadas, para receber a população prevista ao decorrer do horizonte temporal.

Procedeu-se, então, o cálculo da área solicitada dada a densidade demográfica constante de 40 hab./ha, considerada no Cenário 1. Como o total de área necessária extrapolou a capacidade das áreas aptas do perímetro urbano, foi preciso, então, identificar, dentre as áreas externas ao perímetro, aquelas que se mostrassem mais apropriadas a receber a expansão urbana prevista nesse cenário. Como resultado final nesse cenário, obteve-se um novo perímetro urbano capaz de receber a mancha urbana prognosticada, se mantida a tendência de baixo adensamento verificada em Formosa.

Em contrapartida, para a construção do Cenário 2 os parâmetros fixados foram os limites territoriais pré-definidos pelo zoneamento proposto, respeitando-se a segregação da área em zona de alta/média, média e baixa densidade. Para isso, foram levantados alguns índices urbanísticos que pudessem assinalar, de alguma forma, qual seriam as densidades esperadas para cada uma das zonas propostas. Isto posto, foi feita uma correlação entre os índices, coeficiente de aproveitamento e taxa de ocupação, apresentados em alguns exemplos práticos com aqueles propostos pelo Plano Diretor de Formosa.

Dentre os exemplos práticos verificados, o único que apresentou índices mais próximos aos de alguma das zonas propostas pelo PD foi o bairro de Pacaembu – SP, que com um coeficiente de aproveitamento de 1,0 e taxa de ocupação de 0,5, se acercou às zonas de média densidade definida pelo zoneamento. Foi, então, estabelecida para essas

zonas a densidade de 50 hab./ha, conforme o observado no bairro comparado. Para as zonas de alta/média densidade foi estabelecido, a priori, 100 hab./ha, valor abaixo do qual a presença de serviços é inviabilizada, segundo Fred Rodrigues (1986).

Considerados esses valores foi feito um balanceamento entre a população prevista, as áreas disponíveis e as densidades estimadas previamente. Nesse balanceamento, fixou-se a área a ser ocupada como sendo a área apta total do zoneamento, exceto pela zona de expansão urbana, e variaram-se, então, a densidade das zonas de alto/médio adensamento e a das zonas de baixo adensamento, até que se chegasse a valores aceitáveis. Com isso, as densidades nas as zonas de alta/média, média e baixa densidade que, a priori, eram de, respectivamente, 100, 50 e 27 hab./ha, passaram a ser de 87,5, 50 e 35 hab./ha. Valores esses que consolidam o Cenário 2.

### **3.6 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Em obediência ao que determina a NBR 12.211 de 1992, foi feito um diagnóstico do sistema de abastecimento atual, visando o aproveitamento das unidades já existentes para constituir parte do novo sistema a ser projetado. Para tanto, foram calculadas as demandas futuras para cada uma das unidades, que posteriormente foram utilizadas como critério de verificação do sistema atual.

### **3.7 CÁLCULO DAS VAZÕES DE PROJETO**

Conhecida a população futura e a demanda per capita, foi possível, então, determinar o consumo previsto para cada uma das unidades do SAA. O cálculo dessas demandas foi feito através da Equação 3.1 para as unidades até a ETA, da Equação 3.2 para as unidades entre a ETA e o reservatório de distribuição, e da Equação 3.3 para as vazões do reservatório até a rede.

$$Q = \left( \frac{K_1 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_{esp} \right) \times C_{ETA} \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$Q = \frac{K_1 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_{esp} \quad (\text{Equação 3.2})$$

$$Q = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_{esp} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde P é a população da área abastecida (hab.); q, o consumo *per capita* (l/hab.dia); K<sub>1</sub>, coeficiente o dia de maior consumo; K<sub>2</sub>, coeficiente da hora de maior consumo; Q<sub>esp</sub>, vazão específica (indústrias, comércios, etc.) (l/s); e C<sub>ETA</sub>, o consumo na ETA.

### 3.7.1 Verificação da Adequação das Unidades Existentes

Com base nas vazões resultantes da etapa anterior e em determinadas recomendações feitas pelas normas técnicas e pela própria literatura, procedeu-se a verificação de algumas das unidades existentes. Com relação às unidades captação e estação de tratamento, foram avaliadas suas capacidades quantitativas em atender às demandas previstas para o período de estudo. O mesmo foi feito para os reservatórios de distribuição, considerando, para tanto, a recomendação feita por Tsutiya (2005) de que a capacidade dos reservatórios deve ser no mínimo 1/3 do volume de água consumido no dia de maior consumo.

No que se refere à rede de distribuição, essa foi avaliada quanto a sua extensão com relação à ocupação atual e prevista, e também segundo as indicações feitas pela NBR 12218 de 1994, principalmente no que diz respeito às zonas de pressão e ao arranjo das tubulações.

### **3.8 PROPOSTA DE NOVA CONCEPÇÃO PARA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

Feita a verificação do sistema atual, notou-se a necessidade de adequação da rede de distribuição. Buscou-se, então, adotar a concepção mais apropriada sob o ponto de vista técnico, econômico, financeiro e social, e que aproveitasse ao máximo as instalações do sistema atual. A proposta para nova concepção do sistema foi feita seguindo-se o roteiro básico recomendado por Tsutiya (2005) e descrito no item 2.2.4.4.

#### **3.8.1 Estudo das Zonas de Pressão**

Com base no diagnóstico do sistema atual, e na construção do Cenário 2, que definiu as áreas a serem ocupadas e suas respectivas densidades demográfica, prosseguiu-se o estudo preliminar das zonas de pressão. Esse foi feito de forma a verificar se a diferença de pressão entre as zonas mais altas e mais baixas supera a pressão estática máxima recomendada na norma. Cada uma das zonas de pressão definidas, conforme recomenda Tsutiya (2006), receberam redes de distribuição independentes, a não ser por uma ligação de emergência que deverá possuir um registro.

Como o intuito da nova concepção da rede era a adequação da rede atual, buscando aproveitar ao máximo as suas instalações. A consideração inicial para a delimitação das zonas de pressão foi, então, delimitá-las conforme os reservatórios de distribuição já existentes. Para tanto, levantou-se a cota de cada reservatório, através do modelo numérico de terreno, e o nível da água em cada um deles. Como as informações de nível da água nos reservatórios elevados não estavam disponíveis no cadastro, se fez necessário estimar as alturas desses com auxílio da ferramenta *Street View* do Google Earth.

Obtidas as informações da elevação estimada para a coluna d'água em cada reservatório, procedeu-se a determinação dos lotes que, preliminarmente, estariam dentro das diferentes zonas de pressão. Isso foi feito reclassificando-se o modelo numérico de terreno para os intervalos de elevação pré-determinados, o que permitiu visualizar as áreas nas quais a pressão, devida à altura do reservatório, eram a priori adequadas, ou seja, estavam entre 10 e 50 mca, conforme recomenda a NBR 12.218/94. Partindo desse critério

e respeitando a proximidade com o reservatório, definiram-se as zonas preliminares de pressão para cada um dos reservatórios existentes.

### **3.8.2 Traçado da rede de distribuição**

Delimitadas as zonas de pressão abrangidas por cada reservatório, procedeu-se o traçado das respectivas redes principais. Esse traçado foi feito em conformidade com os lotes estabelecidos no Cenário 2, e respeitando-se as recomendações da NBR 12.218/94 e da própria literatura. Nesse sentido, buscou-se dispor as tubulações principais em circuito fechado e respeitando a distância máxima entre tubulações de 400 metros.

A distância de 400 metros, sugerida pela literatura, foi determinada de forma a garantir que a velocidade máxima não seja atingida pelas tubulações secundária, considerando-se que essa tenha um diâmetro de 50 mm, que é um diâmetro prevalecente na rede atual.

O traçado da rede principal foi efetuado por meio do SIG ArcGis, onde através da criação de *shapes* de linha, geraram-se nós nos quais as informações de demanda e cota foram concentradas, de forma a permitir que se efetuassem os cálculos da rede.

Aos nós, gerados por meio da ferramenta *Feature Vertices To Points*, do menu *Data Management*, foram, então, acopladas as elevações presentes no MDT, o que se deu através da ferramenta *Extract Values To Points*, do menu *Spatial Analyst*, que permite que os valores das células de um *raster* sejam incorporados à tabela de atributos de um *shape* de pontos.

Já as informações de demanda em cada nó foram calculadas dividindo-se a demanda total da zona, por todos os nós presentes na mesma. Para isso, foram criados polígonos das áreas de abrangência de cada reservatório, diferenciando-as conforme as diversas densidades demográficas propostas no Cenário 2. Para as diferentes subáreas foi, então, calculada uma demanda total (Equação 3.4), que posteriormente foi dividida igualmente pelos nós inseridos nela.

É importante salientar que esse não é o método mais indicado para o cálculo de demanda nos nós, tendo em vista que, na realidade, cada nó apresenta diferentes áreas de influência e, portanto, diferentes demandas. No entanto, apesar do erro associado ao método, esse não apresenta grande relevância para a acurácia dos resultados finais, devido a baixa precisão de boa parte dos dados utilizados e do erro associado às diversas suposições assumidas.

### 3.8.3 Dimensionamento dos Condutos

Após digitalização da rede e obtenção dos dados de vazão e cota para cada nó, esses foram, então, transferidos para o programa EPANET, onde se efetuaram os cálculos de dimensionamento da rede proposta.

A transferência dos nós foi possível através do macro (EPAX) (disponível para download em: <<http://depositfiles.org/files/znt96ywmy>>), o qual converte informações de redes desde planilhas Excel (.xls) até o formato de rede do EPANET (.inp). Com isso, foi necessário que, ainda no ArcGis, se incorporasse à tabela de cada nó as informações de coordenada XY, o que se deu através da ferramenta *Add XY Coordinates*, do menu *Data Management*, e se exportasse tais tabelas de atributo para uma planilha Excel, a partir da qual os dados foram convertidos ao formato de rede (.inp).

O ajuste das configurações do programa aos parâmetros adotados para o dimensionamento foi o primeiro passo. Sendo que os parâmetros adotados para a simulação foram: a fórmula de perda de carga Universal ou de Darcy-Weisbach, por ser a recomendada pela norma e considerada por Rossman (2000) como a teoricamente mais correta; unidade de vazão em l/s; número máximo de iterações para resolver as equações de cálculo hidráulico de 40 e erro máximo de convergência de 0,001, conforme sugere Faria (2009).

Depois do ajuste das configurações, os nós foram, então, importados para o EPANET, permitindo o desenho das tubulações da rede. Para tanto, foram assumidos como

valores pré-definidos para as tubulações criadas o diâmetro de 75 mm e a rugosidade 0,0015 referente, segundo a literatura, ao material pvc (policloreto de polivinila). O diâmetro de 75 mm foi escolhido por ser o valor mínimo recomendado para tubulações principais, e, portanto, a opção de menor custo.

A partir daí, deu-se prosseguimento à simulação que foi feita sob condições de demanda máxima na rede, o que permitiu avaliar se as determinações e recomendações quanto à pressão e à velocidade estavam sendo satisfeitas pelo dimensionamento proposto. Nas zonas de menor porte foi possível a aplicação do algoritmo LENHSNET, que permite o dimensionamento otimizado do sistema de distribuição de água com mínimo de custos.

Para as zonas de maior porte, no entanto, não foi possível a aplicação do LENHSNET, e o dimensionamento dessas teve que ser feito manualmente. Para isso, variou-se o diâmetro das tubulações que apresentavam alta perda de carga, até que se alcançassem as pressões mínimas ou máximas em cada um dos nós da rede. As velocidades na tubulação, por sua vez, só foram avaliadas posteriormente, só havendo o redimensionamento da rede quando possível.

Ao final, foram alocados também alguns os órgãos e equipamentos acessórios à rede conforme a necessidade e o estipulado pela norma no item 5.10. Não foi considerada, no entanto, a presença de hidrantes no dimensionamento da rede.

Vale ressaltar, por fim, que apesar de o EPANET ser capaz de fazer simulações de qualidade da água, no presente trabalho optou-se pela simulação basicamente hidráulica devido à ausência de dados para otimização adequada do módulo de simulação de qualidade.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 DIAGNÓSTICO

#### 4.1.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudos do presente trabalho é a referente à porção urbana do Município de Formosa (Figura 4.1). O Município goiano de Formosa situa-se na latitude  $15^{\circ} 32' 14''$  S e longitude  $47^{\circ} 20' 04''$  W, bem próximo ao limite nordeste do Distrito Federal, estando inserido na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE/DF). Devido a qual o município vem apresentando crescente Índice de Desenvolvimento Humano, segundo o IBGE, em 1991 esse índice foi de 0,482, enquanto que em 2010, esse havia subido para 0,744.

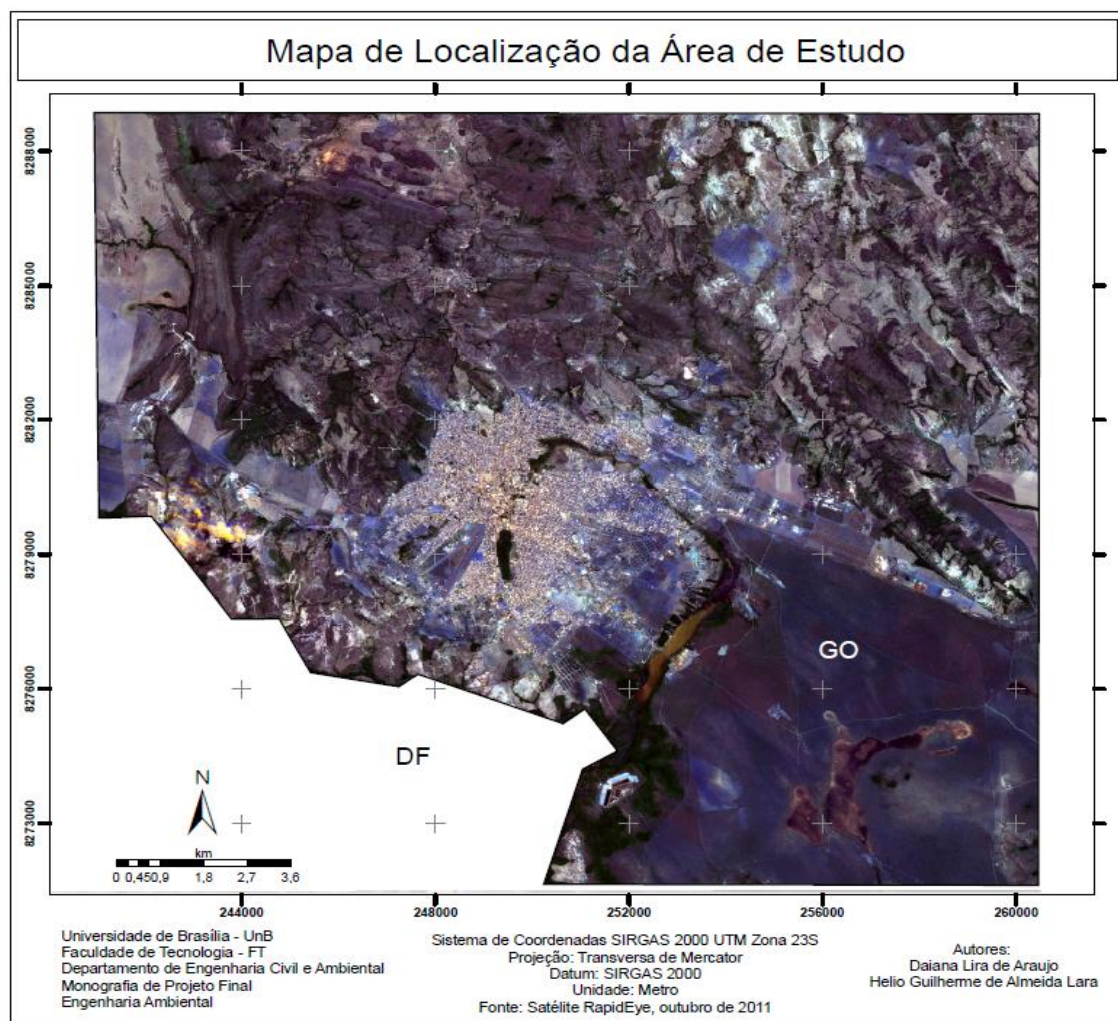


Figura 4.1 – Área de estudo no município de Formosa-GO (Satélite RapidEye, outubro de 2011)



A RIDE/DF foi criada em 1998, pela Lei Complementar nº 94, de fevereiro de 1998, e tem por objetivo a promoção do desenvolvimento sustentável do Distrito Federal e seu entorno, a partir da ampliação e consolidação da infraestrutura, do fortalecimento da base econômica, com diversificação de oportunidades de emprego e renda. O que, segundo a Constituição Federal de 1988, é uma atribuição da União.

Nesse contexto de pertencente a RIDE/DF, Formosa à semelhança dos demais municípios circunvizinhos da capital, apresentou-se como alternativa para a localização de migrantes de baixa renda e ao mercado imobiliário, uma vez que o controle construtivo imposto dentro dos limites do DF era bastante mais rígido. Segundo o Plano Diretor de Formosa, no período entre 1980 e 1991 verificou-se uma tendência ao aumento da população vivendo nas áreas urbanas em todos os municípios do entorno do DF, além do aumento da proporção da população urbana. O fato demográfico criado por Brasília manifesta-se enfaticamente na sua periferia imediata.

Ainda segundo o texto constitucional, em seu Artigo 182º, é obrigatória, agora sobre a competência dos Municípios, a adoção do Plano Diretor como instrumento básico para a política de desenvolvimento e expansão urbana para cidades com mais de 20 mil habitantes. Nesse sentido, foi elaborado em 2003 o Plano Diretor do Município de Formosa, cuja elaboração foi requerida pela Lei Orgânica de Formosa, em seu artigo 8º.

#### **4.1.2 Plano Diretor de Formosa**

O Plano Diretor de Formosa, que visa ordenar o crescimento urbano do município, foi proposto considerando-se o horizonte de aproximadamente 20 anos, em cortes temporais de curto (2003/2005), médio (2006/2010) e longo prazos (2010/2020). Durante o diagnóstico, o Plano Diretor (PD), verificou que, no tocante à distribuição espacial da população, em que Formosa apresenta uma ocupação mais densa no setor central da cidade e uma ocupação rarefeita e polinucleada pelas regiões periféricas, e verificada certa tendência à manutenção dessa situação.

No que concerne à situação fundiária dos lotes urbanos, o Plano Diretor apontou forte indícios de irregularidade, sobreposição titular e ocupação de áreas de preservação e de risco. Sendo conhecidas diversas ocupações irregulares, entre elas: as invasões na lagoa dos Santos e em áreas circunvizinhas ao aeroporto, e as sobreposições de lotes e sistema viário na Vila Beneditina. Além dessa outra área que apresenta ocupação irregular é o Parque Municipal Mata da Bica, que juntamente com a Lagoa Feia, são áreas de destaque no que diz respeito a parques e áreas verdes. No entanto, apesar do destaque para o turismo e recreação local, a Lagoa Feia tem estado em um grave processo de degradação da lagoa Feia.

Durante o prognóstico, foi feito o levantamento de diversas fragilidades e restrições que se impõem às formas de uso e ocupação atual do território do Município de Formosa, devendo, segundo o Plano Diretor, haver uma série de cuidados a serem observados no futuro. Com relação às barreiras para o crescimento, Formosa apresenta duas barreiras naturais relevantes, sendo elas a própria Lagoa Feia ao sudeste e ao norte a borda de ruptura do relevo. Internamente à malha urbana impõem-se outras duas barreiras, que são: o aeroporto e o Parque Municipal Mata da Bica. Com base nisso, foram identificados três eixos claros com possibilidade de expansão: sentido oeste, sudoeste e leste.

No entanto, o eixo preferencialmente recomendado pelo PD foi o intraurbano, tendo em vista a grande quantidade de vazios internos, devido à ocupação desordenada e loteamentos periféricos ao setor central. Nesse sentido, o PD propôs um zoneamento de uso e ocupação do solo, de forma a que haja uma melhor ordenação espacial e tendo em vista os potenciais econômicos e as deficiências de espaços urbanos destinados a áreas verdes, de lazer e recreação. Além disso, estabeleceu-se, também, um novo perímetro urbano, que segundo o PD foi criado em função das tendências de crescimento e características do território, a fim de se evitar áreas com problemas ambientais.

O zoneamento urbano (Figura 4.2) foi, então, subdividido em zonas de uso, levando-se em conta suas características atuais e sua potencialidade. As zonas propostas foram: as Zonas Predominantemente Residencial de Alta, Média e Baixa Densidade Populacional (ZPR1, ZPR2, ZPR3); a Zona de Comércio e Serviços (ZCS); as Zona Especial de Interesse Social (ZEIS1 e ZEIS2); a Zonas Predominantemente Residencial e

Universitária (ZPRU); a Zona Predominantemente Industrial (ZI); a Área de Proteção Ambiental (APA); a Área de Parques Urbanos (PU); e, por fim, a Zona de Expansão Urbana (ZEU).

Com base nas diretrizes do zoneamento proposto, é possível separar as zonas, que são destinadas, entre outros, ao uso residencial, em três grandes grupos de densidade populacional. No grupo de alta/média densidade estão as zonas ZPR1 e ZCS; já no grupo de média densidade estão as zonas ZPR2, ZPRU e ZEIS 1 e 2; por fim, no grupo de baixa densidade estão as zonas ZPR3 e ZEU. Nas demais áreas não é permitido o uso residencial.

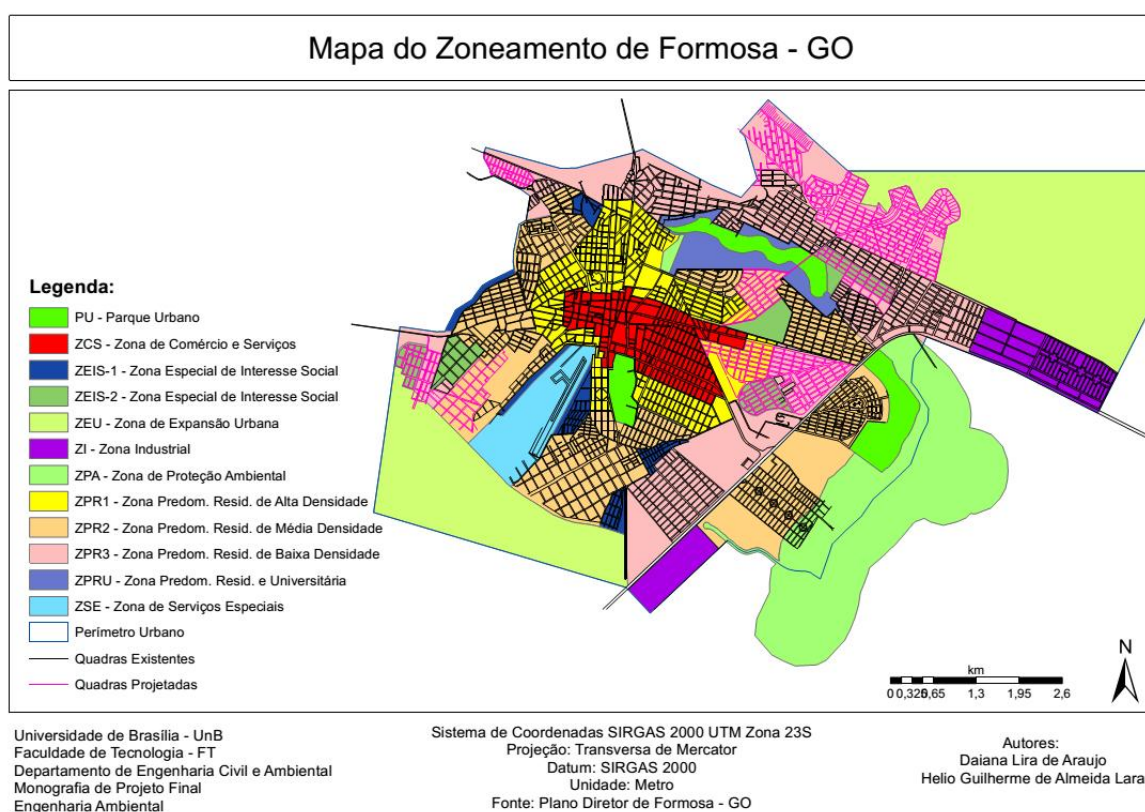


Figura 4.2 – Mapa de Zoneamento urbano proposto pelo Plano Diretor

## 4.2 CÁLCULO DEMOGRÁFICO

O cálculo demográfico, através do programa gerado para aplicação do método das componentes demográficas, resultou em uma estimativa da população urbana segmentada

quanto às coortes de idade e quanto ao sexo, essas populações foram, então, somadas para a obtenção da população final a cada ano, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - População urbana total estimada

| ANO  | 2010   | 2015    | 2020    | 2025    | 2030    | 2035    | 2040    | 2045    | 2050    |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Hab. | 91.981 | 101.766 | 111.693 | 121.472 | 130.670 | 139.738 | 149.008 | 158.399 | 167.607 |

A evolução demográfica, observada através dos valores estimados, apresentou constante geométrica de 2,04% a.a.(por cento ao ano) em 2015, reduzindo para 1,51% a.a. em 2050. Os valores observados, apesar de se apresentarem abaixo do esperado, estão bem condizentes com a tendência de redução da taxa de crescimento que vem sendo observada por todo país (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Taxa média de crescimento anual (%) da população (IBGE, 1980 – 2005)

| Regiões             | 1980/1991 | 1991/2000 | 2001/2005 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Brasil</b>       | 1,93      | 1,64      | 1,67      |
| <b>Norte</b>        | 3,85      | 2,86      | 2,64      |
| <b>Nordeste</b>     | 1,83      | 1,31      | 1,36      |
| <b>Sudeste</b>      | 1,77      | 1,62      | 1,66      |
| <b>Sul</b>          | 1,38      | 1,43      | 1,46      |
| <b>Centro-Oeste</b> | 3,01      | 2,39      | 2,31      |

Para fins de validação dos resultados obtidos pela aplicação do método dos componentes demográficos, esses foram comparados à população estimada pelo próprio IBGE para o ano de 2014. A população total prevista pelo IBGE, para esse ano, foi de 110.388 habitantes, o que remete a uma população urbana de cerca de 101.450 habitantes, valor esse que se está bem próximo ao valor previsto pelo método para o ano de 2015, o que reafirma a confiabilidade da estimativa realizada.

Ainda assim, é importante salientar que a alta heterogeneidade dos dados de entrada utilizados, no que diz respeito ao ano de referência e a escala de abrangência, pode ter tido efeito negativo sobre os resultados finais. Outro causador de erro foi o fato de não ter sido considerada a evolução das componentes demográficas ao passar dos anos, em especial a

mortalidade, que por ser decrescente, ocasionaria um aumento na taxa de crescimento da população estimada.

### **4.3 MAPA DE APTIDÃO À EXPANSÃO URBANA**

Os critérios, obtidos a partir dos mapas de onde foram extraídas as potencialidades e restrições do meio físico do Município de Formosa, formaram a base necessária para produção do mapa de aptidão à expansão urbana. Os mapas, exceto o de uso e cobertura do solo, foram manipulados no sistema ArcGis. O mapa de uso e cobertura do solo foi inicialmente processado no sistema SPRING e depois levado, em formato temático (vetorial), para o sistema ArcGis.

As etapas para obtenção dos resultados referentes a esse capítulo podem ser assim resumidas: padronização dos fatores em um intervalo comum para gerar os mapas matriciais; determinação das restrições e reclassificação do mapa temático para gerar um mapa matricial de restrições com lógica booleana; aplicação do método AHP para gerar o modelo matemático; e uso do modelo matemático para geração do mapa de aptidão.

Abaixo, serão apresentados e discutidos os resultados de cada critério, da análise multicritério e o mapa final de aptidão à expansão urbana do Município.

#### **4.3.1 Distância de Infraestruturas Existentes**

Os mapas de distância de infraestruturas existentes foram obtidos em três etapas. Primeiro, foi delimitado o perímetro urbano adensado. Em seguida, foram criadas as zonas de atração do perímetro adensado e das rodovias. Por último, foram atribuídas as notas de favorabilidade à ocupação urbana para as zonas de atração. A Figura 4.3 a) e b) mostra os resultados para os mapas de distância de infraestruturas existentes temático e reclassificado, nesta ordem.

O perímetro urbano proposto pelo PD possui uma área de 53,86 km<sup>2</sup>, enquanto que o perímetro adensado delimitado, 31,78 km<sup>2</sup>. Assim, a nova formulação do perímetro resultou em uma diminuição de 41% da área original.

As cores do mapa temático variam em tons de vermelho. Quanto mais forte o tom, menor a distância das infraestruturas – ou dos sistemas de serviços públicos. Para efeitos de modelagem, às áreas no interior do perímetro adensado foi associada a distância de 0 km, e às áreas com distâncias a 3 km foi atribuída a distância de 3050 m. Desta forma, foi possível vincular aptidão ótima àquelas, e escassa a estas.

As cores do mapa de distância de infraestruturas reclassificado variam de verde escuro, associado às aptidões mais altas, até vermelho, aqui associado a baixas aptidões. A Tabela 4.3 exibe os resultados do mapa reclassificado junto às observações determinantes na atribuição da nota. E a Figura 4.4 traz o gráfico da função *fuzzy* linear discretizada aplicada às notas de aptidão para as regiões que se encontravam numa distância de até 3 km do perímetro adensado.

Tabela 4.3 – Resultados das classes qualificadoras do mapa de distância de infraestruturas

| Áreas  | Distância (km) | Notas (1 - 5) | Aptidão            | Observações   |
|--|----------------|---------------|--------------------|---|
| <b>Adensadas</b>                               | 0              |               |                    | Áreas dentro do perímetro adensado  |
| <b>Rodovias</b>                                | 0 → 0,5        | 5             | Ótima              | Os custos para implementação de infraestruturas, como saneamento básico, assim como o relacionado à operação e circulação de transportes, aumentam com a distância (Nascimento, 2008) |
| <b>Distância de Infraestruturas Existentes</b> | 0 → 3          | 5 → 1*        | De ótima a escassa |   |
| <b>Distâncias Maiores</b>                      | > 3            | 1             | Escassa            |   |

\*Lógica *fuzzy* discretizada.

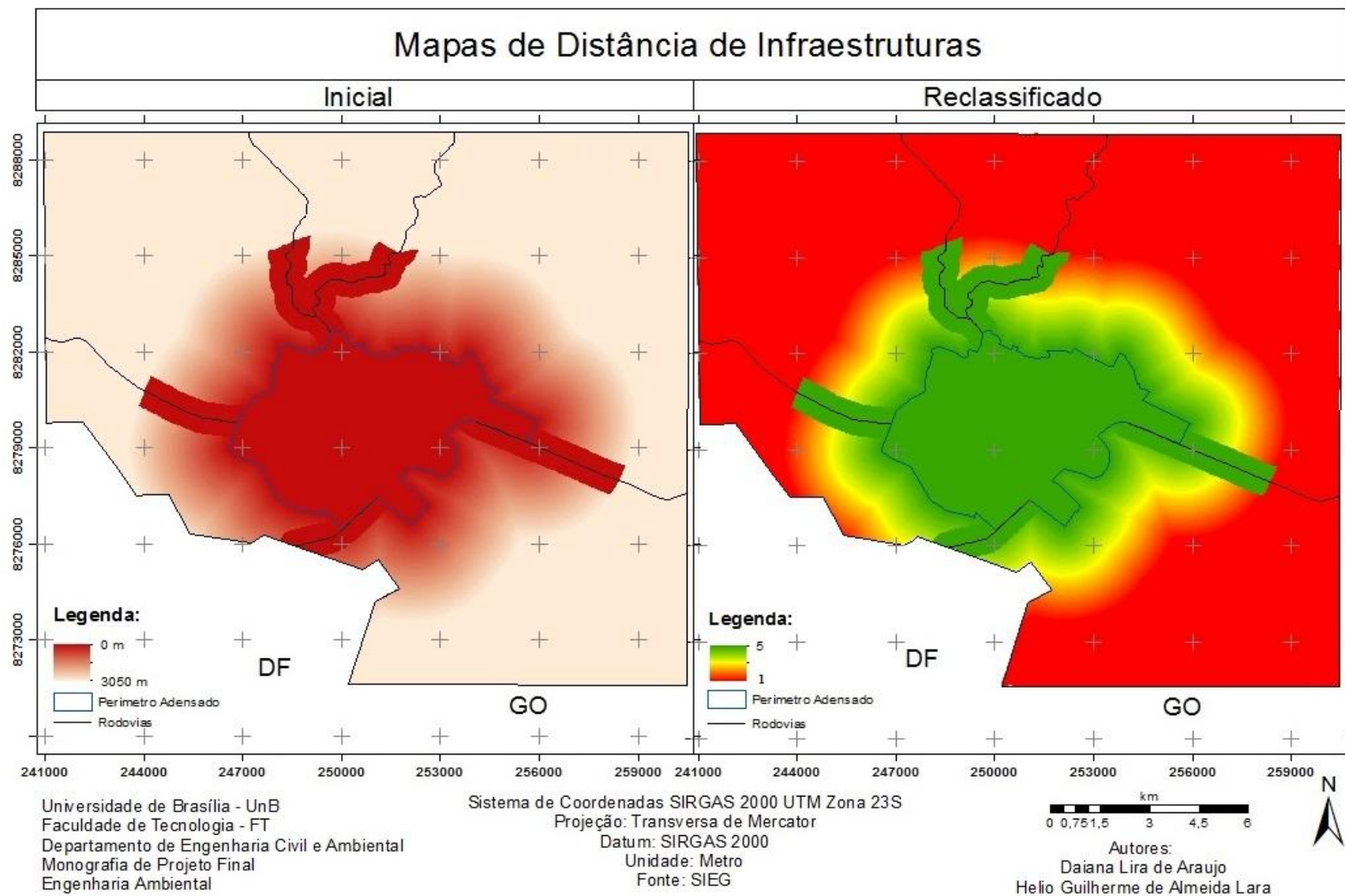


Figura 4.3 – Mapas de distância de infraestrutura: a) Inicial; b) Reclassificado

Na atribuição das notas de aptidão para o mapa de distância de infraestruturas, procurou-se atribuir maior vocação às áreas próximas às localidades que já possuíam serviços públicos, como saneamento básico, e àquelas próximas das rodovias.

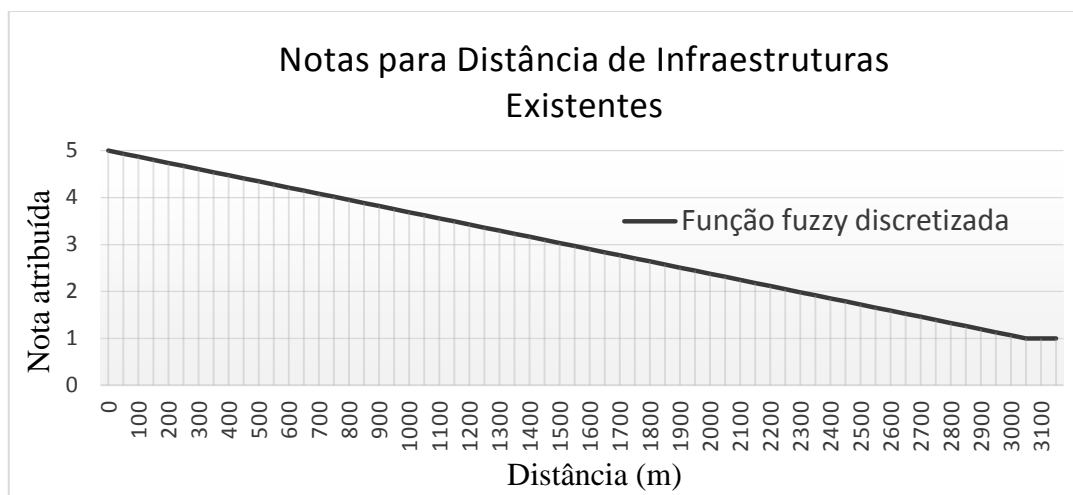


Figura 4.4 – Função *fuzzy* linear discretizada para distância de infraestruturas

As áreas dentro ou próximas das zonas adensadas são mais propícias à ocupação, ao passo que as mais distantes acarretam maiores despesas com instalação de infraestrutura, somadas aos problemas provenientes de traslado e das despesas com transporte para as novas edificações.

Outro viés dessa abordagem é que quanto maior a espacialização da população em um Município, normalmente são maiores os impactos ambientais em decorrência da maior área afetada pelas ações antrópicas. Desta maneira, o adensamento urbano, dentro dos limites tidos como positivos, posto que a partir de 200 hab./ha a densidade demográfica passa a gerar mais problemas que benefícios, como mostra a Tabela 4.4.

Outro viés dessa abordagem é que quanto maior a espacialização da população em um Município, normalmente são maiores os impactos ambientais em decorrência da maior área afetada pelas ações antrópicas. Desta maneira, o adensamento urbano, dentro dos limites tidos como positivos, posto que a partir de 200 hab./ha a densidade demográfica passa a gerar mais problemas que benefícios, como mostra a Tabela 4.4.



Tabela 4.4 – Consequências da densidade demográfica  
(Moreira 2006, modificada)

| <b>Características da População</b> |                            |  |
|-------------------------------------|----------------------------|--|
| <b>Classificação</b>                | <b>Densidade (hab./ha)</b> | <b>Efeitos</b>   |
| <b>Antieconômica</b>                | Menor que 45               | Serviços públicos extremamente caros                               |
|                                     |                            | Transporte público ineficiente                                     |
|                                     |                            | Ruas desertas  |
|                                     |                            | Equipamentos comunitários subutilizados                            |
| <b>Aceitável</b>                    | De 45 a 100                | Serviços públicos caros  |
|                                     |                            | Transporte público ineficiente                                     |
|                                     |                            | Boa qualidade de vida em zonas exclusivas de habitação unifamiliar |
|                                     |                            | Espaços públicos subutilizados                                     |
|                                     |                            | Pouca miscigenação de usos nas zonas residenciais                  |
| <b>Desejável</b>                    | 100 a 150                  | Serviços públicos econômicos                                       |
|                                     |                            | Transporte público eficiente                                       |
|                                     |                            | Espaços públicos otimizados  |
|                                     |                            | Miscigenação na tipologia residencial                              |
|                                     |                            | Miscigenação de usos   |
| <b>Aceitável</b>                    | 150 a 200                  | Serviços públicos econômicos                                       |
|                                     |                            | Transporte público eficiente                                       |
|                                     |                            | Desapropriações para alargamento do sistema viário                 |
|                                     |                            | Poluição do ar, sonora, visual                                     |
|                                     |                            | Redução da circulação de carros particulares                       |
| <b>Antieconômica</b>                | Mais que 200               | Congestionamento de infraestrutura                                 |
|                                     |                            | Congestionamento de circulação urbana                              |
|                                     |                            | Má qualidade de vida   |
|                                     |                            | Poluição do ar, sonora, visual                                     |

### 4.3.2 Declividade

As informações relativas à declividade foram construídas a partir de duas etapas. Primeiro, obteve-se a declividade do terreno a partir do MDT. Depois, foram atribuídas notas de aptidão para as faixas de declividade, de acordo com as recomendações da literatura. Os mapas de declividade temático e reclassificado estão representados na Figura 4.5, a) e b) respectivamente.

O mapa de declividade temático inicial foi dividido em sete classes temáticas, cujos valores e as áreas correspondentes, em quilômetros quadrados e em porcentagem, são mostrados na Tabela 4.4. Os resultados mostram que 63,8% da área de estudo se encontra na faixa de declividade de 0 a 15%, evidenciando que apesar de a região possuir maior parte plana, as áreas com declividades acentuadas formam uma porção significativa.

As áreas mais claras do mapa temático inicial denotam as regiões com maiores declividades, e quanto mais escuro o tom de cinza menor a declividade. É possível notar que as maiores declividades se concentram nas regiões mais ao norte e à leste da área de estudo e, em alguns casos, ocorrem dentro do perímetro urbano. Por outro lado, predominam superfícies planas ao sul e no interior do perímetro urbano.

O mapa de declividade reclassificado mostra as classes, ou intervalos de declividade, conforme a nota associada à favorabilidade à ocupação urbana. As cores desse mapa variam de vermelho, que remete à fragilidade escassa, até o verde escuro, que remete às áreas com maiores níveis de aptidão a expansão urbana – quanto a esse critério.

A Tabela 4.5 traz os resultados obtidos através do mapa de declividade reclassificado. Os números mostram que a maior parte do território, 63,8%, foi diagnosticada como de ótima ou boa aptidão para ocupação urbana. Porém, pela Figura 4.5 b) pode-se atentar que prevalecem áreas de baixa aptidão na fronteira com o perímetro urbano ao norte, e que também há ocorrência dessas áreas dentro do perímetro urbano, nos extremos lestes e oeste.

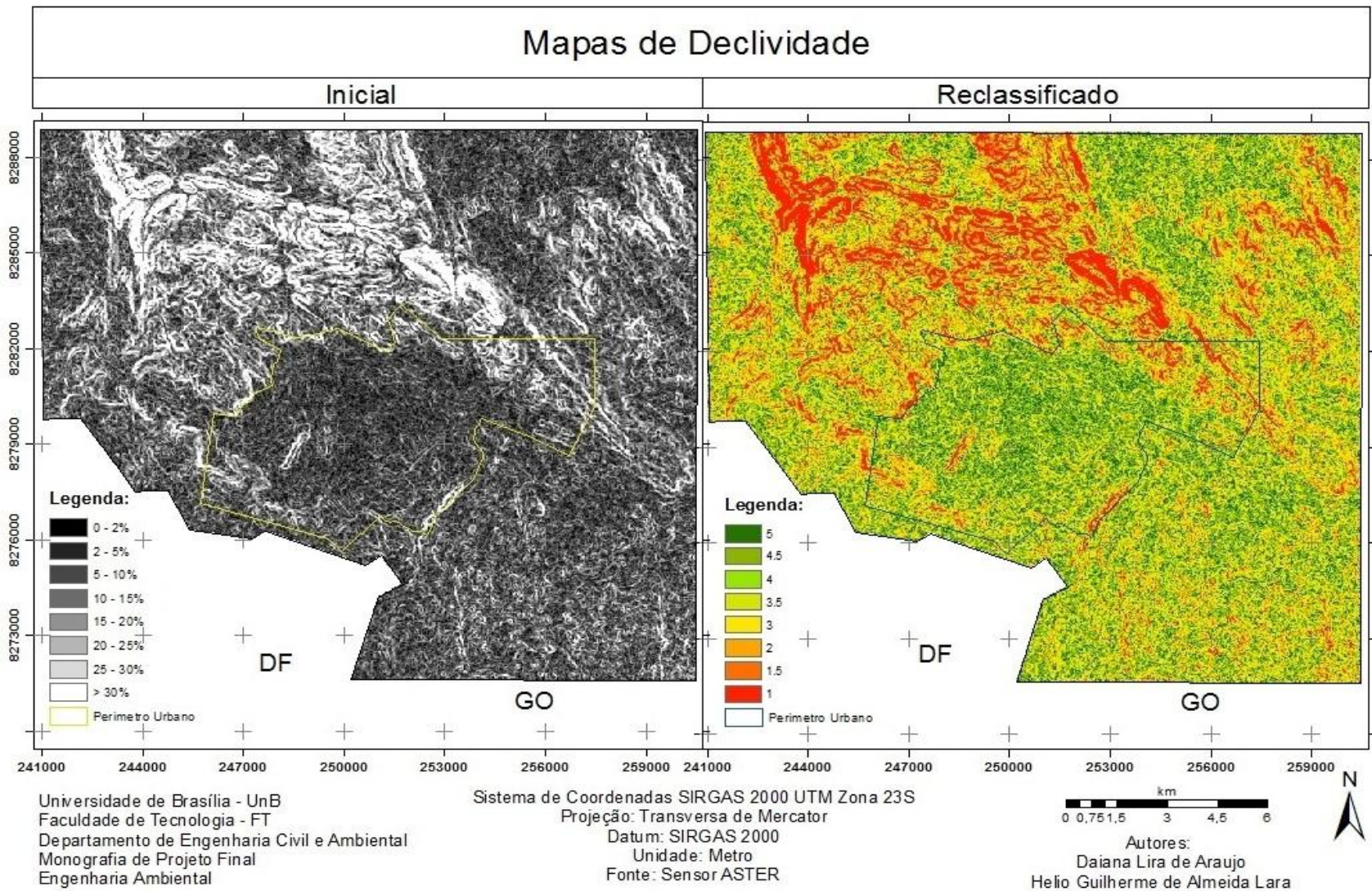


Figura 4.5 – Mapas de declividade: a) Inicial; b) Reclassificado

Tabela 4.5 - Resultados do mapa de declividade

| Mapa de Declividade |                 |               |
|---------------------|-----------------|---------------|
| Classes             | Área            |               |
|                     | km <sup>2</sup> | %             |
| $0 < S \leq 2 \%$   | 6,79            | 2,40          |
| $2 < S \leq 5 \%$   | 33,05           | 11,69         |
| $5 < S \leq 10 \%$  | 77,27           | 27,34         |
| $10 < S \leq 15 \%$ | 63,15           | 22,34         |
| $15 < S \leq 20 \%$ | 41,10           | 14,54         |
| $20 < S \leq 25 \%$ | 23,69           | 8,38          |
| $25 < S < 30 \%$    | 13,92           | 4,93          |
| $\geq 30 \%$        | 23,71           | 8,39          |
| <b>TOTAL</b>        | <b>282,67</b>   | <b>100,00</b> |

Tabela 4.6 – Resultados do mapa de declividade reclassificado

| Declividade (%)  | Nota (1 - 5) | Área            |       | Aptidão | Observações   |
|------------------|--------------|-----------------|-------|---------|---|
|                  |              | km <sup>2</sup> | %     |         |   |
| $0 < S \leq 2$   | 4            | 6,79            | 2,40  | Boa     | Risco de inundações e dificuldades de instalação de redes de esgoto e drenagem pluvial (Nascimento, 2008) |
| $2 < S \leq 5$   | 5            | 33,05           | 11,69 | Ótima   | Favoráveis à ocupação   |
| $5 < S \leq 10$  | 4,5          | 77,27           | 27,34 |         |   |
| $10 < S \leq 15$ | 3,5          | 63,15           | 22,34 | Boa     | A intensificação da declividade aumenta a suscetibilidade à erosão (Jhon <i>et al.</i> , 2013)            |
| $15 < S \leq 20$ | 3            | 41,10           | 14,54 | Média   |   |
| $20 < S \leq 25$ | 2            | 23,69           | 8,38  | Baixa   |   |
| $25 < S < 30$    | 1,5          | 13,92           | 4,93  | Escassa |   |
| $> 30$           | 1            | 23,71           | 8,39  |         |   |

Para determinação das notas de aptidão para a declividade, considerou-se, consoante Nascimento (2008), que as áreas praticamente planas são vulneráveis à ocorrência de inundações e, quando adensadas, enfrentam problemas com sistemas que operam por força da gravidade. Por isso, não receberam a nota máxima.

As declividades que giram em torno de 2 a 10% apresentam condições ideais para ocupação urbana. A partir daí o aumento da declividade foi associado à diminuição da aptidão, uma vez que a declividade influencia diretamente os processos erosivos do solo, que é um problema ambiental.

### 4.3.3 Uso e Cobertura do Solo

O mapa de uso e cobertura do solo foi produzido no sistema SPRING, a partir da metodologia citada no subitem 3.3.1, e posteriormente exportado para o sistema ArcGis, onde foi reclassificado. A Figura 4.6 a) e b) apresenta os resultados para o mapa temático inicial e para o mapa reclassificado, nesta ordem.

A classificação da imagem RapidEye foi feita a partir das seguintes classes: agricultura, cerrado (onde também foram abordados os campos), cerradão, mata ciliar, pastagem, solo exposto, área urbana densa, área urbana menos densa e água. A Tabela 4.6 revela os resultados para as áreas de cada classe, em quilômetros quadrados e em porcentagem da área total em estudo.

Os resultados mostram que predomina na área de estudo a vegetação nativa do tipo cerrado, abrangendo 47,7% da área total. Analisando a Figura 4.6, pode-se notar uma tendência de ocorrência dessa classe à nordeste e à noroeste, além da região relativa à área do Exército, à sudeste – na qual os usos são limitados legalmente. Em seguida, vêm as pastagens, com 22,1% da área de estudo.

Tabela 4.7 – Resultado do mapa de uso e cobertura do solo

| Classes                        | Área            |        |
|--------------------------------|-----------------|--------|
|                                | km <sup>2</sup> | %      |
| <b>Agricultura</b>             | 6,01            | 2,13   |
| <b>Água</b>                    | 3,24            | 1,15   |
| <b>Área Urbana Densa</b>       | 5,41            | 1,91   |
| <b>Área Urbana Menos Densa</b> | 12,66           | 4,48   |
| <b>Cerradão</b>                | 20,60           | 7,29   |
| <b>Cerrado</b>                 | 134,93          | 47,73  |
| <b>Mata Ciliar</b>             | 20,17           | 7,13   |
| <b>Pastagem</b>                | 62,50           | 22,11  |
| <b>Solo Exposto</b>            | 17,15           | 6,07   |
| <b>TOTAL</b>                   | 282,67          | 100,00 |



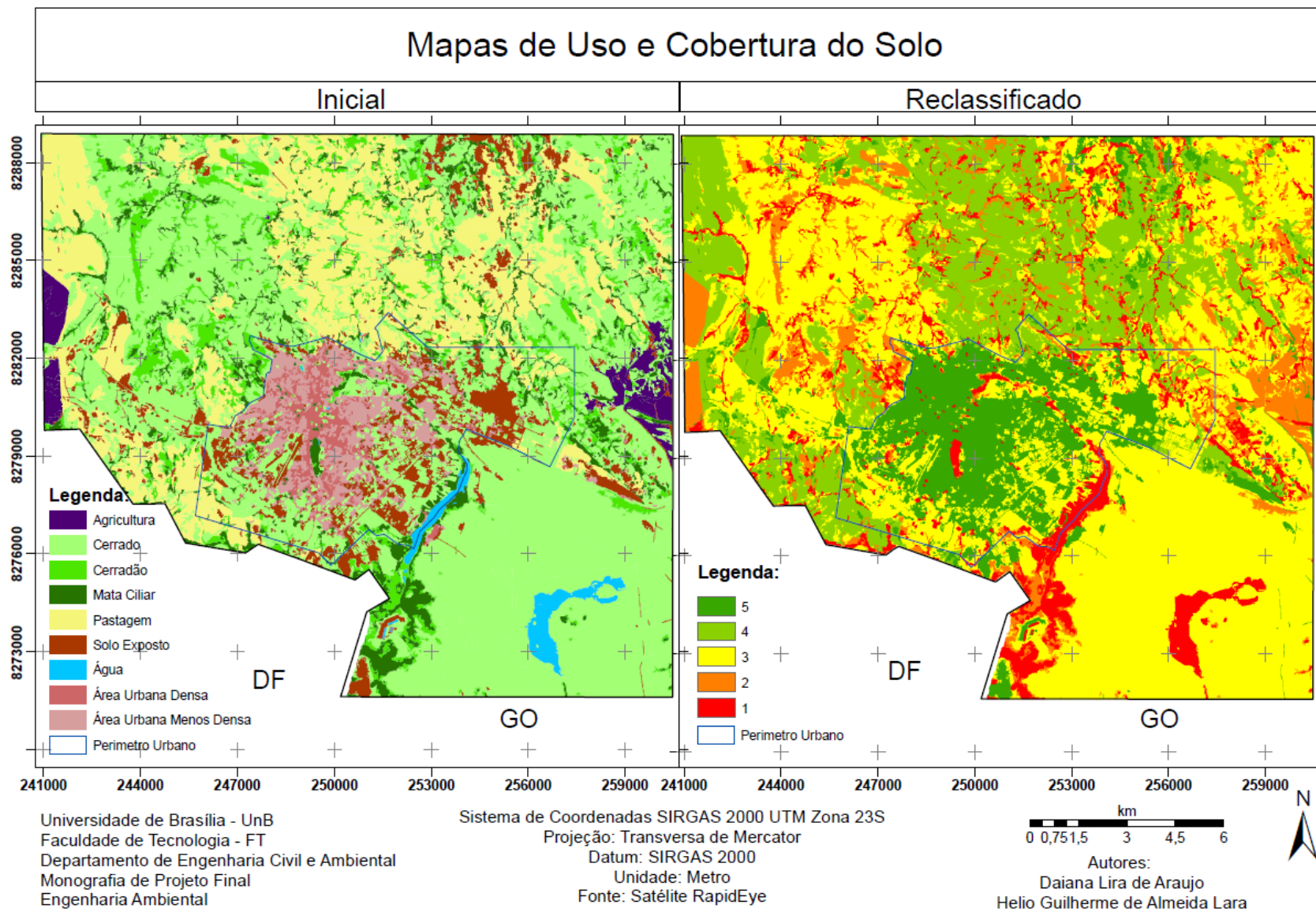


Figura 4.6 – Mapas de uso e cobertura do solo: a) Inicial; b) Reclassificado

Um destaque também deve ser dado às áreas urbanas em razão da temática em estudo. Somadas as porcentagens das classes densa e menos densa, as áreas urbanas chegam a 6,4% do território. As demais classes não apresentam fortes sobressaltos.

A Tabela 4.7 informa os resultados para o mapa de uso e cobertura do solo reclassificado. Cerca de 34,6% da área em estudo possui de boa a ótima aptidão à ocupação urbana, segundo esse critério. Quando se considera também a aptidão média, esse número chega a 82,3 % da extensão territorial.

A Figura 4.6 b) mostra que prevalecem na região do perímetro urbano as classes com maiores aptidões. Todavia, há também a aparição de classes mais desfavoráveis à ocupação urbana. A maior parte dessas regiões se encontra em áreas de preservação ambiental e parques urbanos, mas também ocorrem baixas aptidões nas zonas do perímetro urbano destinadas à expansão urbana, à extremo oeste e, principalmente, à extremo leste.

Na definição das notas para as classes de uso e cobertura do solo, pretendeu-se dar valores menores às áreas que possuíam cobertura vegetal nativa, hierarquizando essas classes quanto à densidade vegetal. À classe de água, ou hidrografia, deu-se aptidão escassa pelo fato de a expansão urbana ter de respeitar os corpos hídricos, que são essenciais a fauna, a flora e a própria população – cuja importância abrange desde o abastecimento de água até a balneabilidade.

Destarte, as vegetações de cerrado, cerradão e mata ciliar receberam aptidões média, baixa e escassa, respectivamente – em que foi considerada a questão da densidade. Seguindo a mesma lógica, as áreas já impactadas pela ação humana receberam valores de aptidão mais altos. Assim, às áreas urbanas e solos expostos foi concedida aptidão ótima e as áreas de pastagem receberam aptidão boa.

Na definição das notas para a classe de agricultura, levou-se em consideração que essas regiões não raramente são determinadas a partir de estudos que têm como base vários critérios como geologia, pedologia, dados meteorológicos, dentre outros. Além disso, julgou-se essas regiões necessárias para o abastecimento alimentar do centro urbano. Com base nisso, a essa classe foi vinculada aptidão baixa.

Tabela 4.8 – Resultados do mapa de uso e cobertura do solo reclassificado

| Classes                 | Nota<br>(1 - 5) | Área            |       | Aptidão | Observações   |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-------|---------|---|
|                         |                 | km <sup>2</sup> | %     |         |   |
| Área Urbana Densa       |                 |                 |       |         |   |
| Área Urbana Menos Densa | 5               | 35,22           | 12,46 | Ótima   | Áreas já adensadas  |
| Solo Exposto            |                 |                 |       |         | Favoráveis à ocupação (Jhon <i>et al.</i> , 2013)                                     |
| Pastagem                | 4               | 62,5            | 22,11 | Boa     | Áreas já impactadas com alta favorabilidade à urbanização (Jhon <i>et al.</i> , 2013) |
| Cerrado                 | 3               | 134,93          | 47,73 | Média   | Vegetações nativas com prioridade à conservação (Plano Diretor, 2003)                 |
| Cerradão                |                 |                 |       |         |   |
| Agricultura             | 2               | 26,61           | 9,42  | Baixa   | Áreas importantes para abastecimento alimentar  |
| Mata Ciliar             | 1               | 23,4            | 8,28  | Escassa | Conservação da hidrografia e refúgio da fauna silvestre (Jhon <i>et al.</i> , 2013)   |
| Água                    |                 |                 |       |         | Preservação da hidrografia  |

#### 4.3.4 Pedologia

O mapa temático de pedologia da área de estudo foi obtido do *site* do Sistema de Informações do Estado de Goiás SIEG e faz parte do ZEE do Entorno do DF (1994). A Figura 4.7 a) e b) expõe os resultados do mapa de pedologia temático inicial e reclassificado.

A Tabela 4.8 traz os resultados de área para cada classe do mapa de pedologia. Conclui-se que na área de trabalho prevalecem os solos do tipo Latossolo Vermelho-Escuro e Cambissolo, juntos representando cerca de 89,4% da pedologia da área de estudo. A Figura 4.7 a) mostra que o tipo Latossolo Vermelho-Escuro é preponderante no perímetro urbano, onde também ocorre o tipo Cambissolo.



Tabela 4.9 – Resultados do mapa de pedologia

| Classes                           | Solos           |       |
|-----------------------------------|-----------------|-------|
|                                   | Área            |       |
|                                   | km <sup>2</sup> | %     |
| <b>Cambissolo</b>                 | 104,23          | 36,87 |
| <b>Latossolo vermelho-escuro</b>  | 148,56          | 52,56 |
| <b>Latossolo vermelho-amarelo</b> | 14,44           | 5,11  |
| <b>Solo Aluvial</b>               | 1,09            | 0,39  |
| <b>Solo Litólico</b>              | 14,35           | 5,08  |
| <b>TOTAL</b>                      | 282,67          | 100   |

Os resultados do mapa de pedologia reclassificado estão contidos na Tabela 4.9, juntos às observações determinantes na definição das notas. Apenas três das cinco faixas de aptidão ocorrem no mapa de pedologia reclassificado, sendo a aptidão ótima a prevalecente – ocorrendo em 57,7% da área de estudo. No entanto, as aptidões baixa e escassa representam uma considerável parcela dos solos, com mais de 42%.

Na definição das notas de aptidão, considerou-se que o grupo dos Latossolos permite qualquer tipo de uso urbano e rural. Por possuírem grande espessura da zona não saturada, permitem ainda que sobre eles sejam instaladas estruturas potencialmente poluentes, como estações de tratamento de efluentes e usinas de triagem e reciclagem de resíduos sólidos (SEDHAB, 2012).

Os Cambissolos são poucos desenvolvidos e apresentam limitações para usos urbanos vinculadas à baixa permeabilidade e à resistência destas coberturas, que dificultam a instalação de sistemas de saneamento *in situ*, instalação de redes de drenagem pluvial ou adução de água, e instalações de obras com pavimentos em subsolo. Esses solos devem ser destinados preferencialmente à preservação ambiental ou a projetos de ocupação na forma de grandes áreas, nos quais as áreas verdes predominem sobre as áreas impermeabilizadas (SEDHAB, 2012).

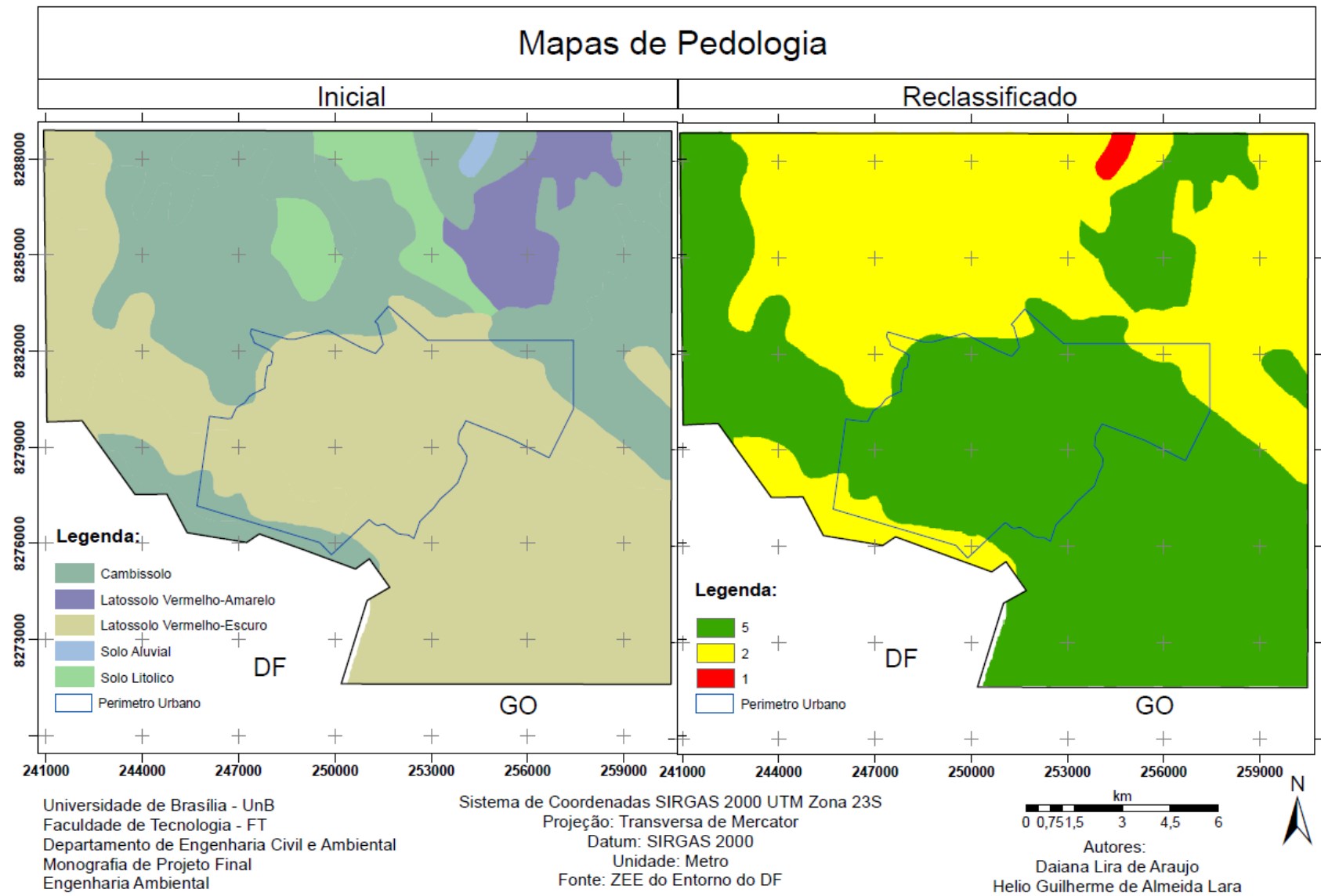


Figura 4.7 - Mapas de pedologia: a) Inicial; b) Reclassificado

Tabela 4.10 – Resultados do mapa de pedologia reclassificado

| Classes                                   | Nota<br>(1 - 5) | Área            |       | Aptidão | Observações  |
|---|-----------------|-----------------|-------|---------|--|
|   |                 | km <sup>2</sup> | %     |         |  |
| <b>Latosolo<br/>vermelho-<br/>escuro</b>  | 5               | 163             | 57,66 | Ótima   | Favoráveis à ocupação<br>(SEDHAB, 2012)  |
| <b>Latosolo<br/>vermelho-<br/>amarelo</b> |                 |                 |       |         |  |
| <b>Cambissolo</b>                         | 2               | 118,58          | 41,95 | Baixa   | Pouco desenvolvidos, mais<br>suscetíveis à erosão<br>(SEDHAB, 2012)  |
| <b>Solo<br/>Litólico</b>                  |                 |                 |       |         | Apresenta limitação para<br>ocupação urbana<br>(SEDHAB, 2012)  |
| <b>Solo Aluvial</b>                       | 1               | 1,09            | 0,39  | Escassa | Pouco desenvolvidos, podem<br>propiciar risco de inundação e<br>às fundações das obras de<br>engenharia (SEDHAB, 2012;<br>Jhon <i>et al.</i> , 2013) |

Os solos litólicos ocorrem em relevo fortemente ondulado a escarpado, apresentando limitações para diversos tipos de usos, como agricultura e ocupação urbana. Os solos aluviais são pouco desenvolvidos e ocorrem principalmente em regiões de relevo plano, associada à vegetação de matas ciliares.

#### 4.3.5 Geologia

Assim como o mapa de pedologia, o mapa temático de geologia foi obtido do *site* do SIEG e faz parte do ZEE do Entorno do DF (1994). A Figura 4.8 a) e b) expõe os resultados do mapa de geologia temático inicial e reclassificado.

A Tabela 4.10 apresenta os resultados para as classes do mapa de geologia. Preponderam na área de estudo as classes referentes ao Grupo Bambuí e a Cobertura Terciária/Quaternário, representando juntos 87,6% das ocorrências. A Figura 4.8 a) mostra que apenas a Cobertura Quaternária não acontece dentro do perímetro urbano.

Tabela 4.11 – Resultados do mapa temático de geologia

| <b>Geologia</b>              |                 |       |
|------------------------------|-----------------|-------|
| <b>Classes</b>               | <b>Área</b>     |       |
|                              | km <sup>2</sup> | %     |
| <b>Grupo Bambuí</b>          | 104,37          | 36,92 |
| <b>Grupo Paranoá</b>         | 25,46           | 9,01  |
| <b>Terciário/Quaternário</b> | 143,28          | 50,69 |
| <b>Quaternário</b>           | 9,56            | 3,38  |
| <b>TOTAL</b>                 | 282,67          | 100   |

A Tabela 4.11 demonstra os resultados do mapa de geologia reclassificado. Depreende-se dela que praticamente a totalidade das classes de geologia, cerca de 96,6% da região, apresentam aptidão boa ou ótima. A partir da Figura 4.8 b), pode-se verificar que a classe de aptidão escassa é justamente aquela que não ocorre no perímetro urbano. Dessa forma, esse mapa não deve ter grande influência no mapa de aptidão à ocupação urbana.

Na determinação das notas, considerou-se que o Grupo Bambuí e Paranoá podem gerar cavidades subterrâneas que dão risco à fundação das obras de maiores portes, em que os alicerces de grandes prédios ou obras hídricas em concreto devem ser ancorados em rocha (SEDHAB, 2012).

Tabela 4.12 – Resultados para o mapa de geologia reclassificado

| <b>Classes</b>                         | <b>Nota (1 - 5)</b> | <b>Área</b>     |       | <b>Aptidão</b> | <b>Observações</b>  |
|--|---------------------|-----------------|-------|----------------|---|
|  |                     | km <sup>2</sup> | %     |                |   |
| <b>Cobertura Terciária/Quaternária</b> | 5                   | 143,28          | 50,69 | Ótima          | Favoráveis à ocupação (Nascimento, 2008)  |
| <b>Grupo Bambuí</b>                    | 4                   | 129,83          | 45,93 | Boa            | Em alguns casos, a formação de cavidades subterrâneas pode causar risco à fundação das obras de maiores portes (SEDHAB, 2012) |
| <b>Grupo Paranoá</b>                   |                     |                 |       |                |   |
| <b>Cobertura Quaternária</b>           | 1                   | 9,56            | 3,38  | Escassa        | Quando Aluvião, localizam-se em áreas sujeitas a inundações (Nascimento, 2008)  |

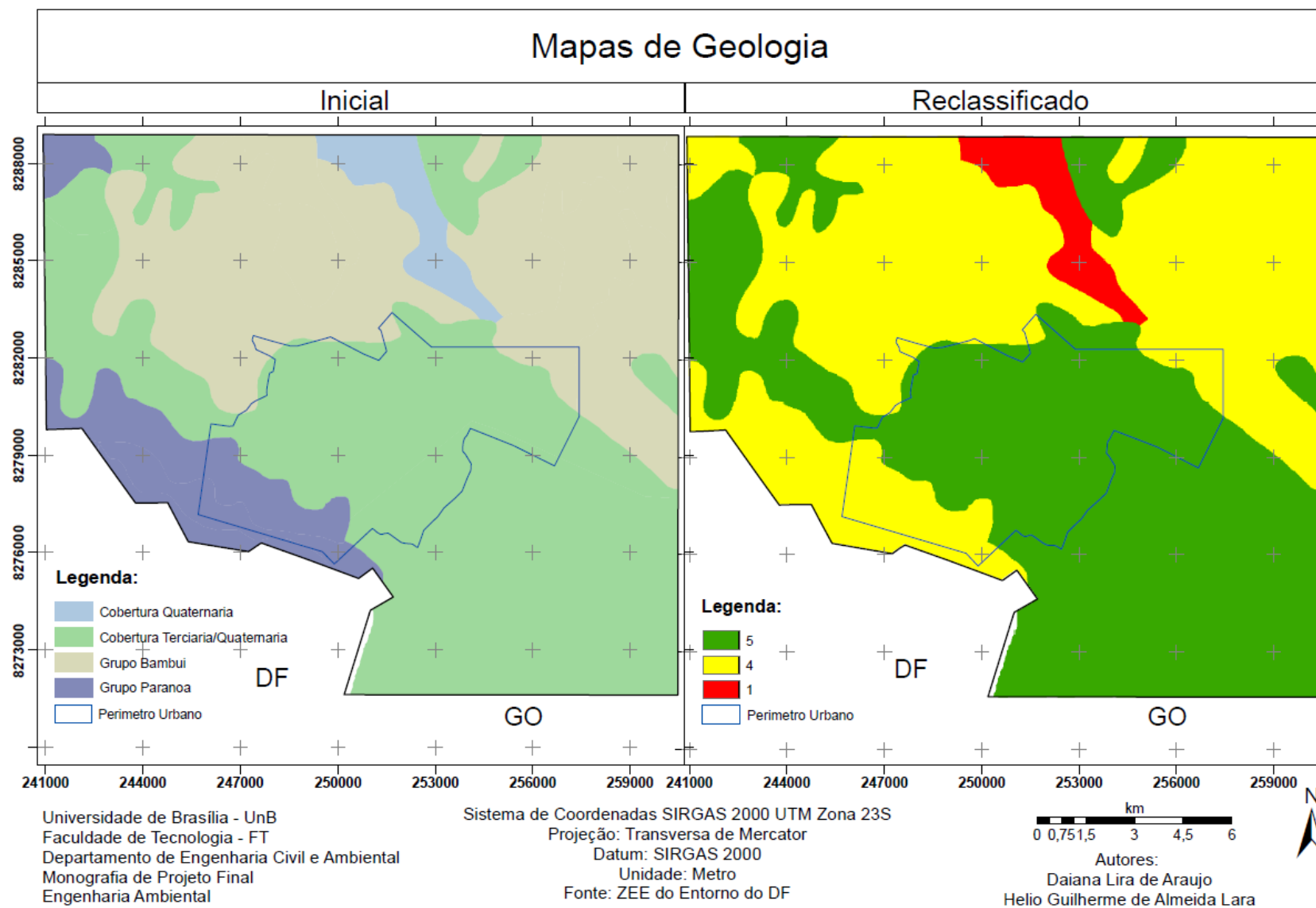


Figura 4.8 – Mapas de geologia: a) Inicial; b) Reclassificado

Nascimento (2008) considerou que as coberturas terciárias são favoráveis à expansão urbana, enquanto que a cobertura quaternária, quando aluvião, localizam-se em áreas sujeitas a inundação.

#### 4.3.6 Restrições Ambientais e Legais

O mapa de restrições teve como objetivo eliminar as regiões da área de estudo que não podem receber ocupação urbana e foi criado em duas etapas. Primeiro, foram levantados os dados de restrições legais e ambientais à expansão urbana constantes no PD e em legislações vigentes e armazenadas em *shapefile*. Depois, reclassificou-se o mapa de restrições totais atribuindo 0 às áreas restritas e 1 às demais.

Foram consideradas as seguintes informações na formulação do mapa de restrições:

- APP de 30 m para corpos d'água de até 10 m de largura:
- Declividades acima de 30%
- Zoneamento do PD, onde as zonas PU (parque urbano), ZI (zonas industriais), ZSE (zona de serviços especiais) e ZPA (zona de proteção ambiental);
- Área exclusiva, destinada a base de treinamento do exército.

A Figura 4.9 exibe o resultado do mapa temático inicial e reclassificado e a Tabela 4.12 resume os resultados. A área total das restrições chegou a 99,8 km<sup>2</sup>, ou cerca de 35,3% da área considerada. O que mostra as restrições tiveram importante papel no mapa de aptidão à expansão urbana.

Tabela 4.13 - Resultados para o mapa de restrições

| <b>Restrições Ambientais e Legais</b> |                       |          |
|---------------------------------------|-----------------------|----------|
| <b>Classes</b>                        | <b>Área</b>           |          |
|                                       | <b>km<sup>2</sup></b> | <b>%</b> |
| <b>Áreas com restrições</b>           | 99,81                 | 35,31    |
| <b>Demais áreas</b>                   | 182,86                | 64,69    |
| <b>TOTAL</b>                          | 282,67                | 100      |

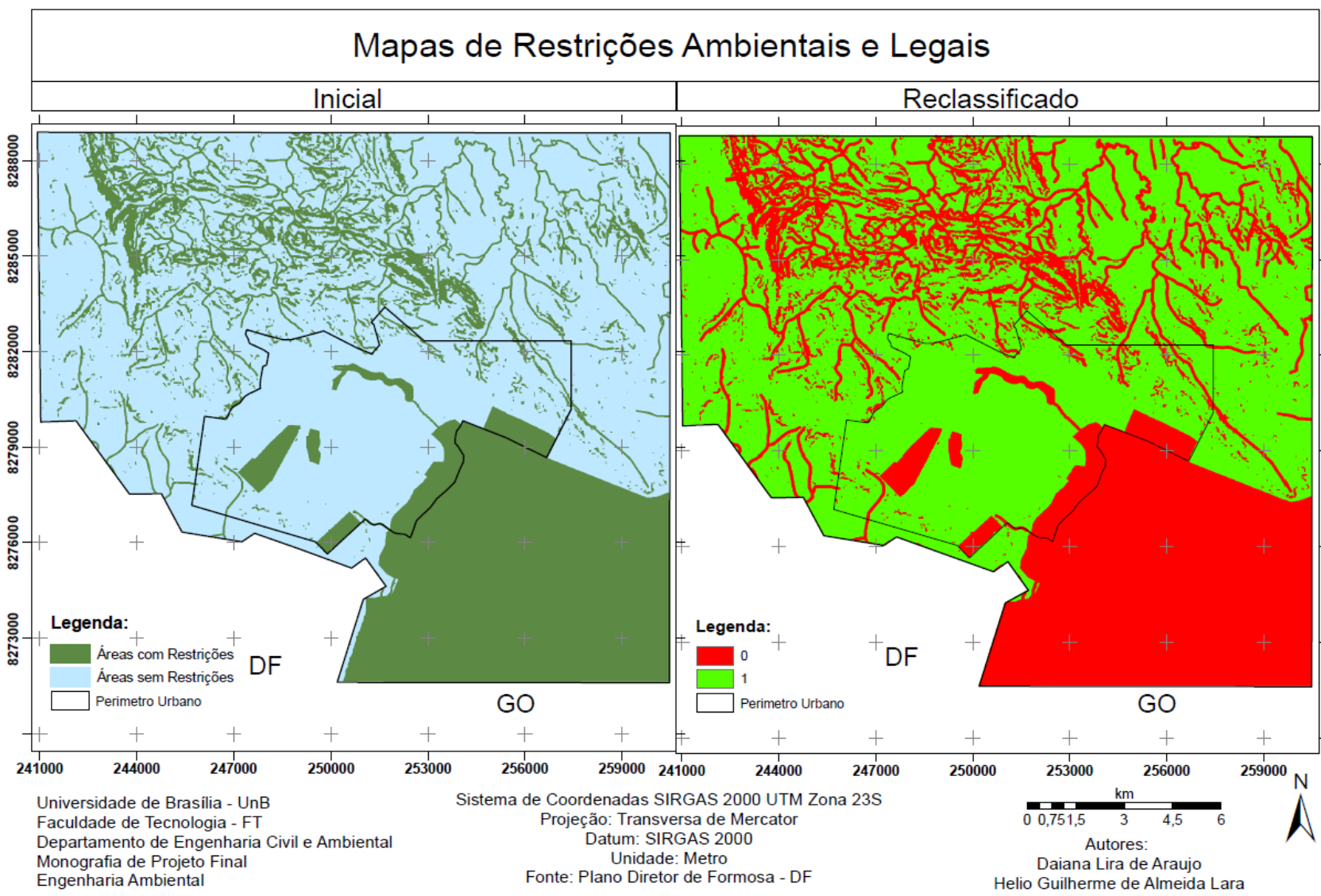


Figura 4.9 – Mapas de restrições: a) Inicial; b) Reclassificado

### 4.3.7 Método AHP e Modelo Matemático

O método AHP foi aplicado para obter os pesos, ou as importâncias, dos fatores e o elaborar o modelo matemático que gerou o mapa final de aptidão à expansão urbana, conforme o disposto nos subitens 2.3.3.5 e 3.3.3. A Tabela 4.13 traz a matriz de comparação pareada, a Tabela 4.14 a matriz normalizada e, por fim, a Tabela 4.15 a verificação de consistência.

Tabela 4.14 – Matriz de comparação pareada

| <i>Matriz de Comparação Pareada</i> |                 |                  |                    |                       |                    |
|-------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| <i>Atributos</i>                    | <b>Geologia</b> | <b>Pedologia</b> | <b>Declividade</b> | <b>Infraestrutura</b> | <b>Uso do Solo</b> |
| <i>Geologia</i>                     | 1               | 1/3              | 1/5                | 1/7                   | 1/7                |
| <i>Pedologia</i>                    | 3               | 1                | 1/3                | 1/3                   | 1/5                |
| <i>Declividade</i>                  | 5               | 3                | 1                  | 1/3                   | 1/3                |
| <i>Infraestrutura</i>               | 7               | 3                | 3                  | 1                     | 1/2                |
| <i>Uso do Solo</i>                  | 7               | 5                | 3                  | 2                     | 1                  |
| $\Sigma$                            | 23,00           | 12,33            | 7,53               | 3,81                  | 2,18               |

Na matriz de comparação pareada, os fatores foram criteriosamente comparados dois a dois a partir de uma escala pré-definida, ou seja, foram estabelecidas as relações de importância que os fatores da linha possuem sobre os fatores da coluna, a partir da Tabela 1.2 de escala de comparadores, proposta por Saaty (1977).

Tabela 4.15 – Matriz normalizada

| <b>Matriz Normalizada</b> |          |           |             |                |             |              |
|---------------------------|----------|-----------|-------------|----------------|-------------|--------------|
| <b>Atributos</b>          | Geologia | Pedologia | Declividade | Infraestrutura | Uso do Solo | <b>PESOS</b> |
| <b>Geologia</b>           | 0,043    | 0,027     | 0,027       | 0,038          | 0,066       | <b>0,040</b> |
| <b>Pedologia</b>          | 0,130    | 0,081     | 0,044       | 0,088          | 0,092       | <b>0,087</b> |
| <b>Declividade</b>        | 0,217    | 0,243     | 0,133       | 0,088          | 0,153       | <b>0,167</b> |
| <b>Infraestrutura</b>     | 0,304    | 0,243     | 0,398       | 0,263          | 0,230       | <b>0,288</b> |
| <b>Uso do Solo</b>        | 0,304    | 0,405     | 0,398       | 0,525          | 0,460       | <b>0,419</b> |

A razão de consistência (RC) foi de 0,043. Por estar abaixo de 0,1, indica que os julgamentos foram adequados e os pesos podem ser implementados. Sendo assim, os pesos atribuídos a cada fator foram:



- Geologia = 0,040
- Pedologia = 0,087
- Declividade = 0,167
- Distância de Infraestruturas Existentes = 0,288
- Uso e Cobertura do Solo = 0,419

Tabela 4.16 – Verificação de consistência

| <b>Verificação de Consistência</b> |       |                 |       |
|------------------------------------|-------|-----------------|-------|
| <b>Aw1</b>                         | 0,203 | $\lambda$ (max) | 5,193 |
| <b>Aw2</b>                         | 0,442 | IC              | 0,048 |
| <b>Aw3</b>                         | 0,863 | IR              | 1,120 |
| <b>Aw4</b>                         | 1,539 | RC              | 0,043 |
| <b>Aw5</b>                         | 2,210 |                 |       |

Verifica-se que os fatores distância de infraestruturas existentes e uso e cobertura do solo ficaram com os maiores pesos, chegando a mais de 70% da soma dos pesos. Ao mesmo tempo que a soma dos demais fatores chegam a apenas 29,3%, com destaque para a geologia que teve somente 4% da soma dos pesos.

Essa discrepância nos valores dos pesos se deve ao fator de os mapas com maiores escala e influência no planejamento ambiental terem sido favorecidos na comparação pareada entre eles. Sendo assim, os mapas com importância mais expressiva em uma abordagem ambiental são, na ordem, o mapa de uso e ocupação do solo, o mapa de declividade e o mapa de distância de zonas adensáveis.

O mapa de uso e cobertura do solo revela a organização espacial da terra, identificando as regiões que possuem diferentes níveis de influências antrópicas. É primordial no reconhecimento de áreas com vegetação nativa, nas quais a preservação deve ser priorizada. Assim como também é um importante instrumento no reconhecimento de áreas já impactadas e/ou com infraestruturas, que mais se adequam à expansão urbana.

O mapa de declividade e pedologia possuem suma importância nos processos erosivos, deslizamentos, inundações e nas instabilidades das fundações. Entretanto, a baixa escala desses fatores os desfavoreceram na comparação com o uso do solo e distância de áreas com infraestruturas – fator, este, importante para o adensamento da zona urbana.

Caso esses dados fossem mais precisos, ganhariam maiores influência no modelo matemático final.

Além disso, do ponto de vista de zoneamentos que não diferem construções de alto porte, a geologia não deve condicionar de forma direta a compartimentação do território definindo, por exemplo, as áreas em que se devem situar as unidades de conservação ou as novas áreas de ocupações urbanas, uma vez que as variações litológicas não representam impedimentos ao desenvolvimento da maior parte das atividades humanas (SEDHAB, 2012). Por conseguinte, somada a pouca influência com a baixa escala do mapa de geologia, este fator teve o menor peso dentre os cinco.

Finalmente, foi possível chegar ao modelo matemático usado na geração do mapa de aptidão à expansão urbana (Equação 4.1):

$$((\text{Geologia} \times 0,040) + (\text{Pedologia} \times 0,087) + (\text{Declividade} \times 0,167) + (\text{Infraestrutura} \times 0,288) + (\text{Uso do solo} \times 0,419)) \times \text{Restrições} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Neste modelo, as informações das restrições ambientais funcionaram como uma máscara, mantendo seu critério de restrição, ou seja, as áreas em que o valor das restrições era igual a zero continuaram zero, e as demais áreas em que o valor era igual a um, ficaram os valores da grade do mapa ponderado, realçando ou diminuindo a aptidão da área de forma contínua (Nascimento, 2008).

#### **4.3.8 Mapa de Aptidão à Expansão Urbana**

Formulado o modelo matemático para criação do mapa de aptidão, usou-se a ferramenta *Raster Calculator* para cruzamento dos critérios reclassificados. A Figura 4.10 mostra o resultado final para o mapa de aptidão à expansão urbana. As cores do mapa variam de vermelho escuro, que representa as regiões inaptas, até o verde escuro, que configura as áreas de aptidão ótima.

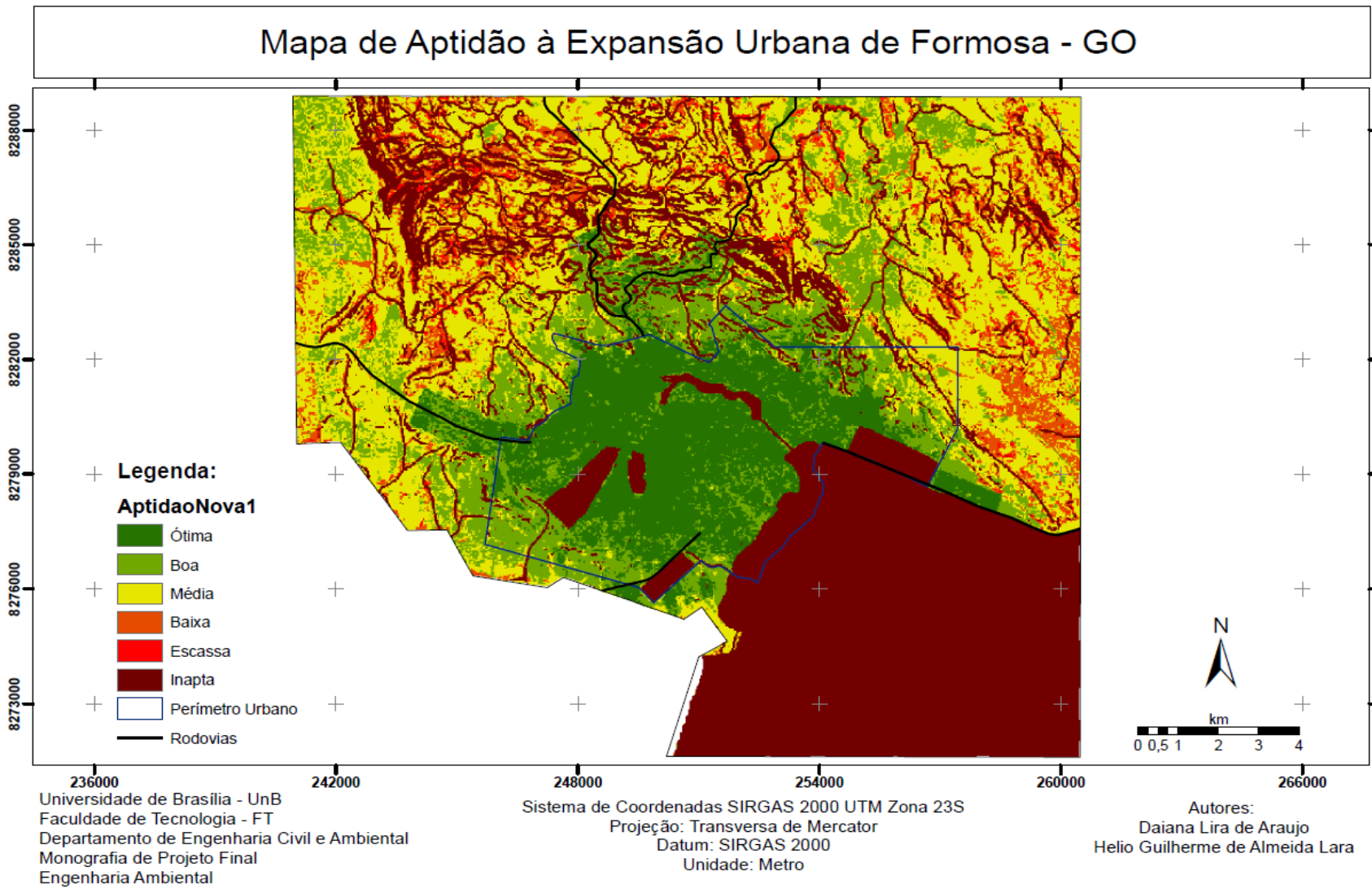


Figura 4.10 – Mapa de aptidão à expansão urbana do Município de Formosa

O resultado do mapa de aptidão demonstra que grande parte da área de estudo ficou classificada como inapta ou com baixos níveis de aptidão. Destaque para a região ao norte, que possui relevo bastante acidentado e conta com grande número de corpos hídricos e, portanto, de áreas de preservação permanente. Nesta região, em raros casos a aptidão chegou a ser classificada como boa.

Ademais, as regiões periféricas do perímetro urbano também apresentaram baixas favorabilidades para expansão urbana, o que pode vir a ser um problema para o crescimento populacional, visto que a zona urbana não tem muitas possibilidades de expansão, contando a sudeste, com a restrição da área do Exército, e a sudoeste com a divisa com o Distrito Federal.

Além do mais, nota-se que porções consideráveis dentro do perímetro urbano foram classificadas como de média, baixa ou escassa aptidão. Essas áreas estão situadas, principalmente, nas zonas de expansão urbana do zoneamento municipal. O que levanta a questão dos critérios utilizados na proposição deste perímetro, que não estão claramente explicitados no PD.

## **4.4 CENÁRIOS**

Objetivando limitar, de certa forma, as incertezas quanto às ocupações urbanas futuras na área do perímetro urbano de Formosa, foram construídos dois cenários de ocupação. O primeiro cenário considerou que a densidade média do PD seria mantida durante todo o horizonte temporal, ou seja, especulou-se que as diretrizes do PD relativas à distribuição da população no espaço não seriam atendidas. Já o segundo cenário, considerado otimista, contemplou o adensamento da população futura.

### **4.4.1 Delimitação das Áreas dos Cenários**

O passo inicial para a criação dos cenários foi a averiguação da área apta à ocupação que se encontrava dentro do perímetro urbano proposto pelo PD, eliminando as

áreas consideradas inapropriadas pelo mapa de aptidão à expansão urbana – que foram identificadas, qualitativamente, no item anterior.

Eliminadas as áreas impróprias, foi constatado que para o Cenário 2 a população, com as densidades das zonas aumentadas, caberia no perímetro urbano proposto. Em contrapartida, para o Cenário 1 deveria haver uma área de expansão de cerca de 600 ha além do perímetro urbano. Logo, foi necessário delimitar também as áreas consideradas como de expansão urbana. A Figura 4.11 aborda a delimitação das áreas do perímetro urbano consideradas inaptas, assim como a demarcação das áreas adjacentes a este, consideradas como de expansão urbana.

Na delimitação das áreas, procurou-se obedecer aos níveis de favorabilidade do mapa de aptidão, dando privilégio as áreas que concentravam classes aptas ou inaptas. As áreas do perímetro julgadas inaptas estão associadas a relevos acidentados, declividades acentuadas e presença de vegetação nativa. Por outro lado, as áreas julgadas como de expansão apresentaram, principalmente, proximidade com as rodovias, mas também declividades baixas e pastagens.

As ocupações urbanas situadas em área de ruptura de declive e de rampas íngremes deve ser restringidas. Nessas áreas, em função das declividades acentuadas e da presença de solos mais rasos, recomenda-se manter intacta a cobertura vegetal e o uso mais adequado nestas localidades deve ser voltado à conservação e à preservação ambiental (SEDHAB, 2012).

#### **4.4.2 Análise das Ocupações Irregulares**

Entendeu-se como ocupações irregulares as construções residenciais em zonas do zoneamento do PD onde não era previsto esse uso. A fim de identificar essas áreas, foi feita uma classificação do uso e cobertura do solo apenas para o perímetro urbano no sistema SPRING – que depois foi exportada para o sistema ArcGis – em uma imagem multiespectral do Google Earth Pro de 2015.



A partir daí os polígonos das zonas de uso restrito do zoneamento foram sobrepostos ao mapa de classificação, e as áreas irregulares da classe de “área construída” dentro eles puderam então ser identificadas. A Figura 4.11 mostra como decorreu o processo de identificação das construções irregulares. Nela são identificadas algumas das regiões que estavam em conflito com os usos permitidos para a respectiva zona.

Na ZSE e no Parque Municipal Mata da Bica foram observadas ocupações urbanas consolidadas. No PU próximo à ZPRU e na ZPA da Lagoa Feia, foram observados processos de loteamentos que invadem as áreas de preservação. Ainda na ZPA da Lagoa feia, há diversos quiosques e restaurantes que, segundo o PD, despejam seus efluentes diretamente na lagoa. Essas áreas de inconformidades foram extraídas dos cenários de ocupação, pois não atendem às premissas do planejamento ambiental.

É importante enfatizar, pela Figura 4.12, a baixa ocupação urbana dentro do perímetro urbano, que se dá pela presença de grandes áreas classificadas com uso adverso a “área construída”, dentro das zonas onde o uso urbano é propiciado. Apesar de início do horizonte de estudo começar em, aproximadamente, 3/4 do horizonte temporal do PD, a ocupação urbana de Formosa permanece rarefeita.

As regiões desocupadas apresentam boas condições à ocupação. Supostamente, suas localidades próximas às áreas mais valorizadas, como o centro urbano e a Lagoa Feia, enseja a atuação da especulação imobiliária. Assim, ficam terrenos ociosos, com grande parte das infraestruturas instaladas, à espera do aumento do seu valor de mercado – os vazios urbanos.

As Figuras 4.13 e 4.14 trazem, respectivamente, o Cenário 1 e o Cenário 2. No primeiro cenário há uma proposta de novo perímetro urbano, que contemple as regiões de expansão assinaladas e exclui as áreas do perímetro original consideradas inaptas. A fim de tornar o traçado do novo perímetro mais regular, houve a inserção de novas áreas impróprias para uso urbano, nas quais a conservação do meio ambiente deve ser priorizada.

A Tabela 4.16 resume os resultados para os cenários. Nota-se que a zona que mais sofreu com a exclusão de áreas impróprias foi a ZEU, com aproximadamente 60% do seu







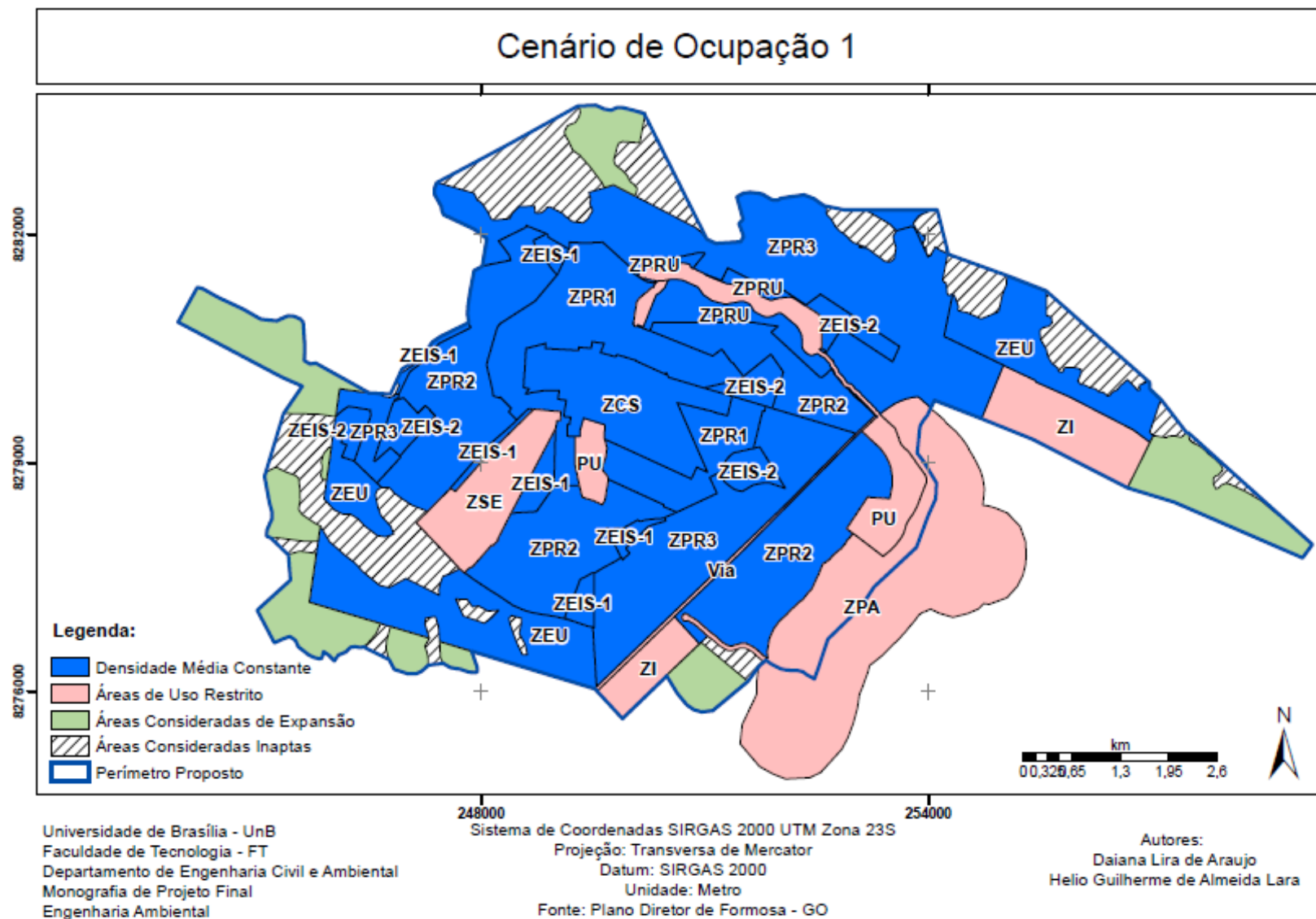


Figura 4.13 – Cenário de ocupação 1



território extraído. De maneira geral, cerca de 20% da área do perímetro urbano foi considerada inapta.

Tabela 4.17 - Resumo dos resultados dos cenários

| Zona          | Área Original (ha) | Área Inapta |       | Área Apta (ha) | Densidade Populacional (hab./ha) |           |
|---------------|--------------------|-------------|-------|----------------|----------------------------------|-----------|
|               |                    | ha          | %     |                | Cenário 1                        | Cenário 2 |
| <b>ZPR1</b>   | 455,51             | 0,51        | 0,11  | 455,00         |                                  | 87,5      |
| <b>ZCS</b>    | 241,14             | 0,00        | 0,00  | 241,14         |                                  |           |
| <b>ZPRU</b>   | 106,13             | 6,16        | 5,80  | 99,97          | 40                               | 50        |
| <b>ZPR2</b>   | 1019,19            | 7,23        | 0,71  | 1011,96        |                                  |           |
| <b>ZEIS-1</b> | 95,44              | 3,06        | 3,20  | 92,38          |                                  |           |
| <b>ZEIS-2</b> | 154,61             | 0,00        | 0,00  | 154,61         |                                  |           |
| <b>ZPR3</b>   | 1255,93            | 150,04      | 11,95 | 1105,89        |                                  | 35        |
| <b>ZEU</b>    | 1256,60            | 742,96      | 59,12 | 513,64         |                                  |           |
| <b>TOTAL</b>  | 4584,55            | 909,96      | 19,85 | 3674,59        |                                  |           |

Para abordar as condições do SAA existente e propor as devidas adequações para seu melhor funcionamento junto à acomodação da população calculada, foi escolhido o Cenário 2. Este cenário atende às recomendações do PD associadas ao planejamento urbano ambiental. Além de propor o adensamento das zonas já urbanizadas, é o que menos degrada o meio ambiente, já que não demanda a expansão dessas zonas para novas porções de terra não ocupadas.

#### 4.5 DIAGNÓSTICO DO SAA

O sistema público de abastecimento existente em Formosa faz uso de dois mananciais, um superficial e outro subterrâneo. Desse modo, a captação é feita com tomada d'água direta em barragem de elevação de nível no córrego Bandeirinha ou através dos diversos poços distribuídos pela a cidade. Apesar disso, só foi possível verificar um único sistema isolado abastecido por poço público na cidade, que compreende ao sistema referente ao bairro de Vila Verde, a noroeste da Lagoa Feia.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é do tipo convencional, constituída de canal de chegada, calha Parshall, flocculadores, decantadores, filtros e casa de química. As

águas captadas dos poços tubulares, no entanto não são tratadas pela ETA, mas, apenas, recebem a adição de cloro quando do recalque para os respectivos reservatórios elevados.

Quanto aos reservatórios, foram identificados dez ao longo de todo sistema, sendo um deles de armazenamento de água lavagem dos filtros, e os demais de distribuição. Como é possível verificar na Figura 4.15 os reservatórios de distribuição estão espalhados ao longo da rede, sendo que a maior concentração deles está localizada em frente à ETA. Ali estão quatro reservatórios enterrados (RET), a partir dos quais a água tratada é fornecida aos demais reservatórios ou diretamente à rede, exclusivamente através do Reservatório R1. Com exceção do reservatório R5 que é semienterrado (RSE), os demais são todos elevados (REL).

Além da estação elevatória de água bruta localizada na captação, o sistema possui, para fins de transferência entre reservatórios, quatro estações elevatórias de água tratada. O total de bombas utilizadas é de 9 bombas alocadas nas diferentes estações elevatórias, segundo o cadastro de 2009.

No tocante à rede de distribuição o que se verificou, ainda com base na Figura 4.15, foi que, exceto pelo sistema isolado Vila Verde, o sistema é em total integrado sem que haja a subdivisão de zonas de pressão independentes, o que pode acarretar em diversos efeitos negativos, principalmente no que se refere a perdas ao longo da rede. Outro ponto é o traçado dos condutos principais e secundários, que, em geral, foi feito formando-se ramos, o que se opõem ao recomendado pela NBR 12.218 de 1994, que diz que os condutos devem, preferencialmente, formar circuitos fechados.

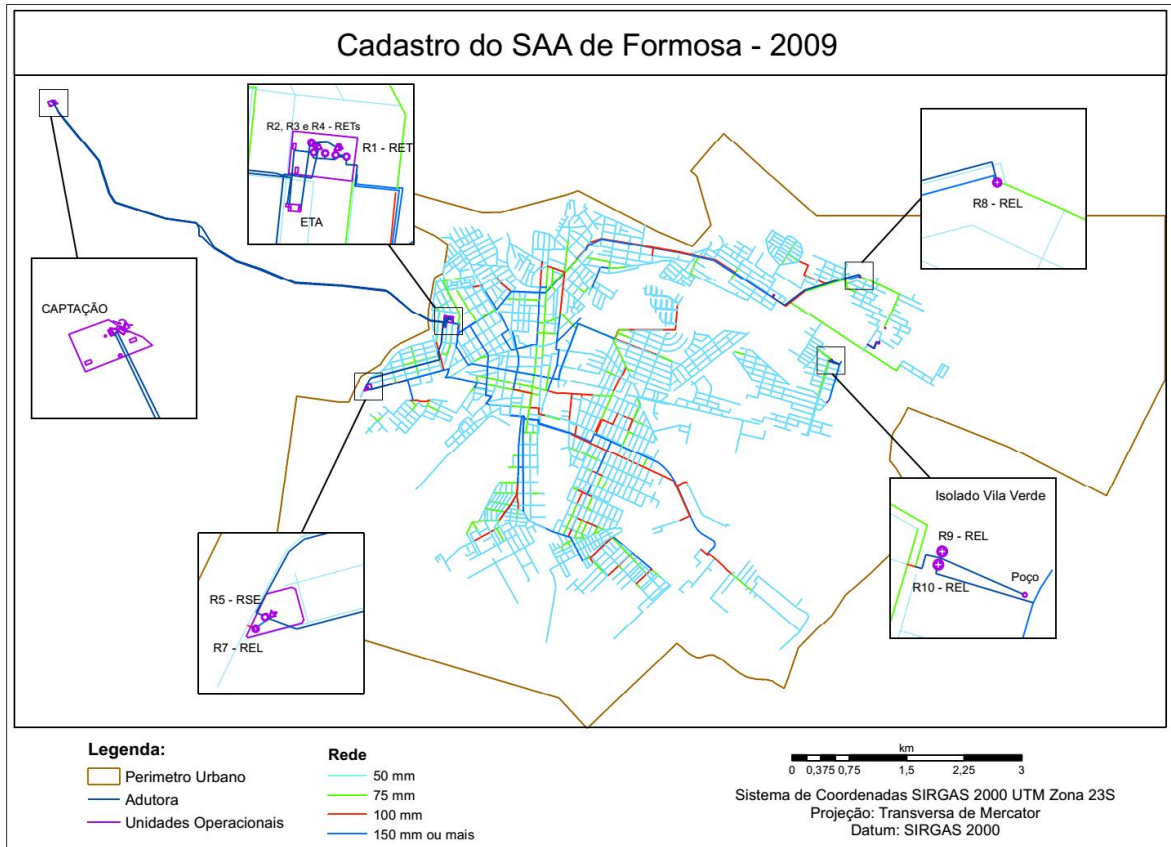


Figura 4.15 – Cadastro do SAA de Formosa, referente ao ano de 2009

#### 4.5.1 Adequação das Unidades Existentes

No que se refere ao SAA, o Plano Diretor afirma que o sistema existente apresenta uma série de problemáticas, sendo um exemplo o sobreuso dos recursos hídricos subterrâneos, seja pelo excesso de poços privados perfurados, seja pela sua contaminação decorrente da falta de adequação do manejo ambiental. Fora isso, ainda segundo o PD, o sistema necessita de ampliações nas unidades de adução de água bruta, captação, tratamento, reservação e rede de distribuição, sendo essa última a mais crítica, em vista do péssimo estado de conservação de parte das redes de distribuição e as elevadas pressões nelas verificadas.

Segundo o Parecer N.009 do Ministério Público do Estado de Goiás, realizado em 2010 para exame dos serviços de água e esgoto em Formosa, estavam em andamento a ampliação das unidades de adução, tratamento e reservatório de distribuição. Sendo que a

capacidade da ETA seria ampliada de 210 para 308 L/s, enquanto que o volume de reservação seria acrescido em 1.500 m<sup>3</sup>.

Na página do SNIS estão disponíveis algumas informações, fornecidas pela própria concessionária de saneamento, quanto ao SAA existente. Os dados, disponíveis na Tabela 4.17, devem, no entanto, ser encarados com certa cautela, tendo em vista que os valores declarados nem sempre estão de acordo com a realidade observada.

Tabela 4.18 – Dados disponíveis no SNIS

| ANO  | Pop. total abastecida | Volume de Água Produzido (L/s) | Volume de Água Tratada em ETA (L/s) | Volume de Água tratada por simples desinfecção (L/s) | Volume de Água Macromedido (L/s) | Volume de Água Consumido (L/s) |
|------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------------------|--------------------------------|
| 2013 | 99.763                | 204,54                         | 195,74                              | 8,81   | 204,26                           | 133,64                         |
| 2012 | 94.999                | 198,35                         | 191,71                              | 6,63   | 195,89                           | 131,35                         |
| 2011 | 91.828                | 191,51                         | 184,15                              | 7,36   | 184,13                           | 123,87                         |
| 2010 | 87.971                | 188,21                         | 183,00                              | 5,21   | 182,98                           | 116,58                         |

Dentro do contexto do SNIS, entende-se por Volume de Água Produzido, o somatório das águas tratadas em ETA e em unidades de tratamento simplificado (UTSs) de desinfecção, enquanto que o Volume Macromedido é o somatório do volume de água medido na saída da ETA e das UTSs. Através desses dados é possível então obter diversos parâmetros cálculo.

As diferenças verificadas entre o volume produzido e o macromedido, e entre o volume macromedido e o consumido indicam, respectivamente, os índices de perda observados na ETA e ao longo da tubulação. Por sua vez, a razão entre o volume consumido e a população total abastecida indica a demanda per capita no ano de referência. Apesar da tendência esperada de redução do consumo *per capita*, para fins de cálculo será adotada a demanda conservadora de 120 L/hab.dia, que está próxima da máxima observada.

No que se refere às perdas no sistema, em 2013, essas chegaram ao índice de 34,7%, o que significa que a cada 100 litros produzidos de água, 34,7 litros não são faturados. Este índice está acima da média estadual que era, em 2011, de 28,1%, e também supera o índice recomendado pela literatura 25%.

Para efeito de verificação da capacidade das unidades atuais de tratamento e reservação em atender às demandas ao longo do horizonte de estudo, foi efetuado o cálculo da vazão do dia de maior consumo para as populações estimadas em cada ano, conforme a Equação 3.3, e considerando-se os valores para K1 igual a 1,2 e as perdas iguais a 25% (valor colocado como meta), já o volume de reservação foi obtido conforme recomenda Tsutiya (2006). Os resultados de cálculo estão apresentados na Tabela 4.18.

Com base na informação de que a capacidade da ETA de Formosa foi expandida para 308 L/s, infere-se das demandas calculadas que essa unidade será capaz de atender bem a população até pouco antes do ano de 2040, sendo necessária sua readequação apenas nesse período. Já no que se refere ao volume dos reservatórios, que era de 4.675, e passou a ser 6.175 m<sup>3</sup>, esse será capaz de abastecer a população apenas até um pouco depois do ano de 2015, sendo necessária a expansão de sua capacidade.

Tabela 4.19 – Demandas previstas para a ETA até 2050

| Ano  | 2010   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   | 2035   | 2040   | 2045   | 2050    |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Vazão demandada - ETA (l/s)                        | 191,6  | 212,0  | 232,7  | 253,1  | 272,2  | 291,1  | 310,4  | 330,0  | 349,2   |
| Volume demandado - reservatórios (m <sup>3</sup> ) | 5518,9 | 6105,9 | 6701,6 | 7288,3 | 7840,2 | 8384,3 | 8940,5 | 9503,9 | 10056,4 |

#### 4.6 PROPOSIÇÃO DE NOVA CONCEPÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Tendo em vista a precariedade da rede distribuição e o seu desajuste quanto às normas vigentes e ao cenário de ocupação considerado, evidenciou-se a necessidade de adequação da rede atual. Foi então proposta uma nova concepção, com o objetivo de verificar a viabilidade, dentro do Cenário 2, da implantação de uma rede, que aproveite ao máximo as instalações do sistema atual, e atenda às exigências das normas técnicas.

#### 4.6.1 Análise das “Zonas de Pressão” e Traçado das Tubulações

As informações levantadas quanto à cota e a altura dos reservatórios de distribuição existentes (Tabela 4.19) permitiu que se obtivesse para cada um deles uma “zona de pressão”, que seria a área em cujas pressões estáticas, devido à coluna d’água do reservatório, estiveram dentro dos limites determinados pela norma.

A partir da análise das “zonas de pressão”, verificou-se que algumas áreas mais elevadas não poderiam ser atendidas adequadamente pelos reservatórios existentes, pois esses não apresentavam carga suficiente para garantir uma pressão mínima nessas áreas. Foi então necessário que se levantassem propostas de adequação dessas regiões.

Tabela 4.20 – Informações de carga dos reservatórios existente

| Reservatório                     | Cota (m) | Altura estimada (m) | Elevação da coluna d’água (m) |
|----------------------------------|----------|---------------------|-------------------------------|
| R1                               | 949      | 0                   | 949                           |
| R5                               | 978      | 2                   | 980                           |
| R7                               | 978      | 15                  | 993                           |
| R8                               | 936      | 12                  | 948                           |
| R9 e R10<br>(Isolado Vila Verde) | 894      | 15                  | 909                           |

Para o caso da Zona Industrial Nordeste, foi sugerida a criação de um sistema isolado com manancial subterrâneo, o que é justificado pela grande distância que há entre essa área e o centro de reservação do sistema. Distância essa que faria com que a sua integração no sistema resultasse em um alto custo com bombeamento e tubulação.

Quanto a outra área de baixa pressão, foram feitas diversas tentativas de integrá-la ao sistema através da zona do reservatório R7, inclusive com a instalação de uma bomba tipo *booster* na tubulação. No entanto, nenhuma dessas foi bem-sucedida, sendo necessário, por fim, que se criasse uma nova zona com reservatório elevado próprio.

O resultado da análise de zonas de pressão foi, então, a separação das quadras, relativas ao Cenário 2, em sete diferentes zonas, sendo cinco do sistema integrado e duas,



sistemas isolados. Para cada uma delas foram traçadas tubulações principais independentes, conforme ilustra a Figura 4.16.

É importante salientar que o traçado da rede de abastecimento de água potável foi feito com relação às áreas já ocupadas e às quadras propostas pelo PD, não sendo abrangida toda a área, mas considerada apenas 87% da população estimada para o fim do horizonte de estudo. As demandas exercidas nos diversos nós, calculadas através da Equação 3.4, resultaram em diferentes valores a depender da zona na qual a área de influência do nó estava localizada (Tabela 4.20).

Tabela 4.21 – Demanda nos nós

| ZONA DO SAA                | ZONA DE DENSIDADE | DEMANDA POR ZONA (l/s) | DEMANDA POR NÓ (l/s) |
|----------------------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| Sistema Isolado Vila Verde | Média/alta        | 11,45                  | 0,572                |
|                            | Média             | 7,58                   | 0,216                |
|                            | Baixa             | 0,83                   | 0,831                |
| Zona R1                    | Média/alta        | 147,48                 | 1,061                |
|                            | Média             | 46,89                  | 0,586                |
|                            | Baixa             | 11,17                  | 0,279                |
| Zona R5                    | Média/alta        | 64,40                  | 1,288                |
|                            | Média             | 71,15                  | 0,498                |
|                            | Baixa             | 21,36                  | 0,403                |
| Zonas R7 e R11             | Média             | 29,86                  | 0,515                |
|                            | Baixa             | 2,87                   | 0,410                |
| Zona R8                    | Média             | 5,35                   | 0,891                |
|                            | Baixa             | 39,05                  | 0,285                |



#### 4.6.2 Dimensionamento da Rede de Distribuição

A rede de distribuição de cada uma das “zonas de pressão” foi dimensionada de forma independente até que obtivesse as condições ideais de pressão no nó e velocidade na rede. As pressões, conforme ilustrado nas Figuras 4.17 e 4.18, puderam ser alcançadas na maioria das nós, sendo necessário, em apenas alguns casos onde a pressão superou os 50 mca, a colocação de equipamentos redutores de pressão; e, especialmente, no caso da zona R5 a colocação de uma bomba do tipo *booster*, com o intuito de aumentar a pressão em alguns pontos altos da rede.

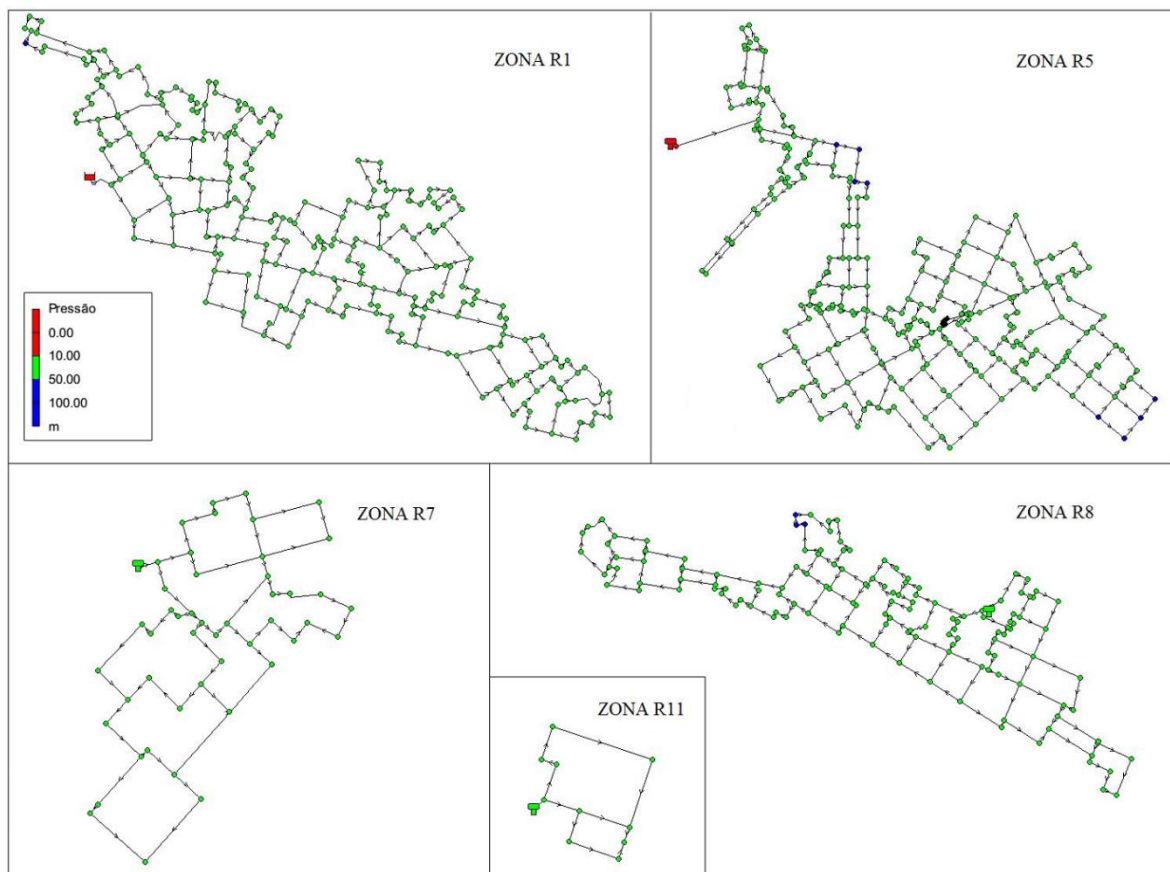


Figura 4.17 - Pressões obtidas nas zonas do sistema integrado

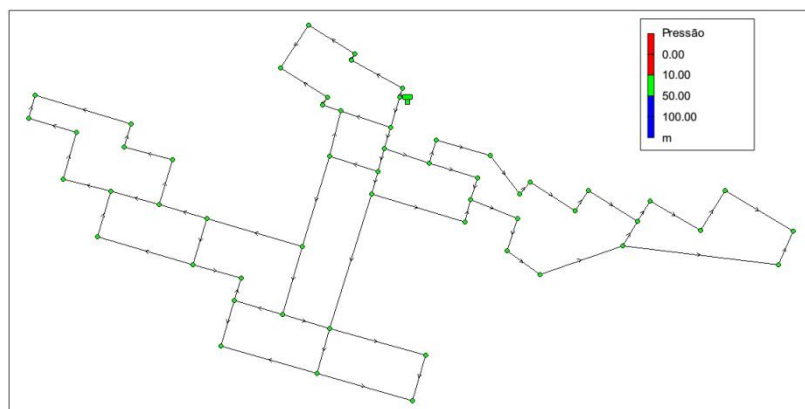


Figura 4.18 - Pressões obtidas no sistema isolado Vila Verde

O dimensionamento da rede, através da adequação da pressão, resultou nos diâmetros para as tubulações principais apresentados entre a Figura 4.19 e a Figura 4.23. Os resultados apresentados nas Figuras 4.21 e 4.23 foram obtidos através do algoritmo Lenhsnet, conforme argumentado no item acerca de metodologia, e podem ser considerados como a solução ótima econômica, dadas as condições.

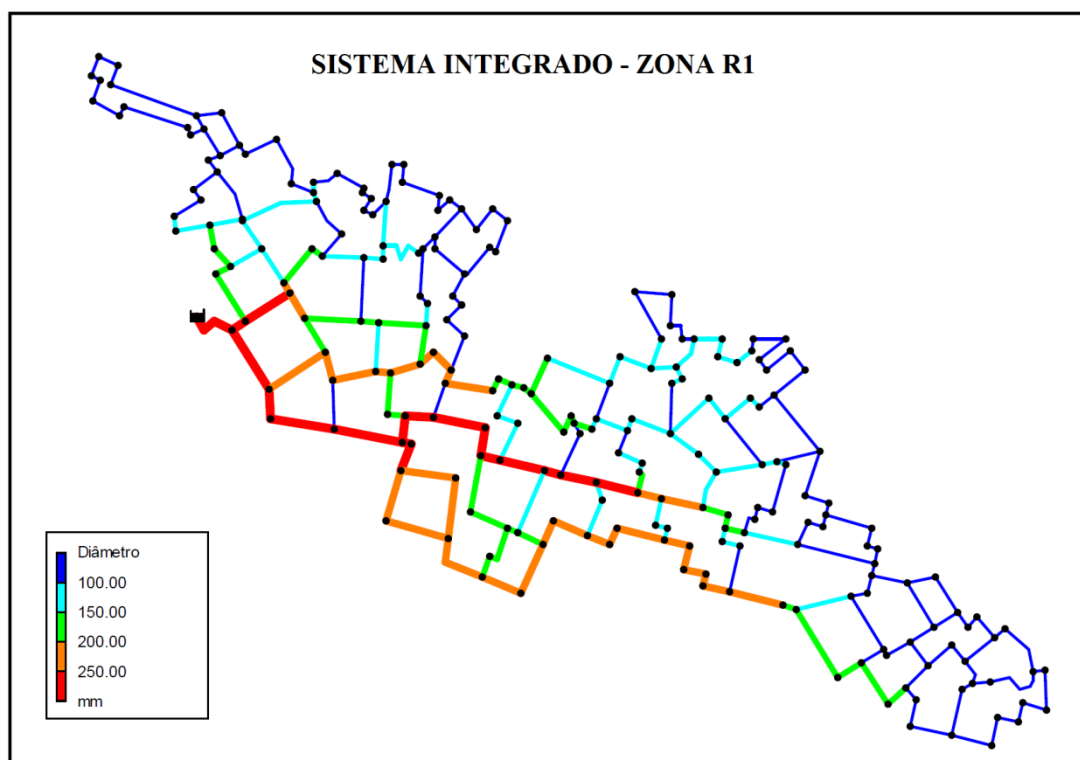


Figura 4.19 - Dimensionamento das tubulações da Zona R1

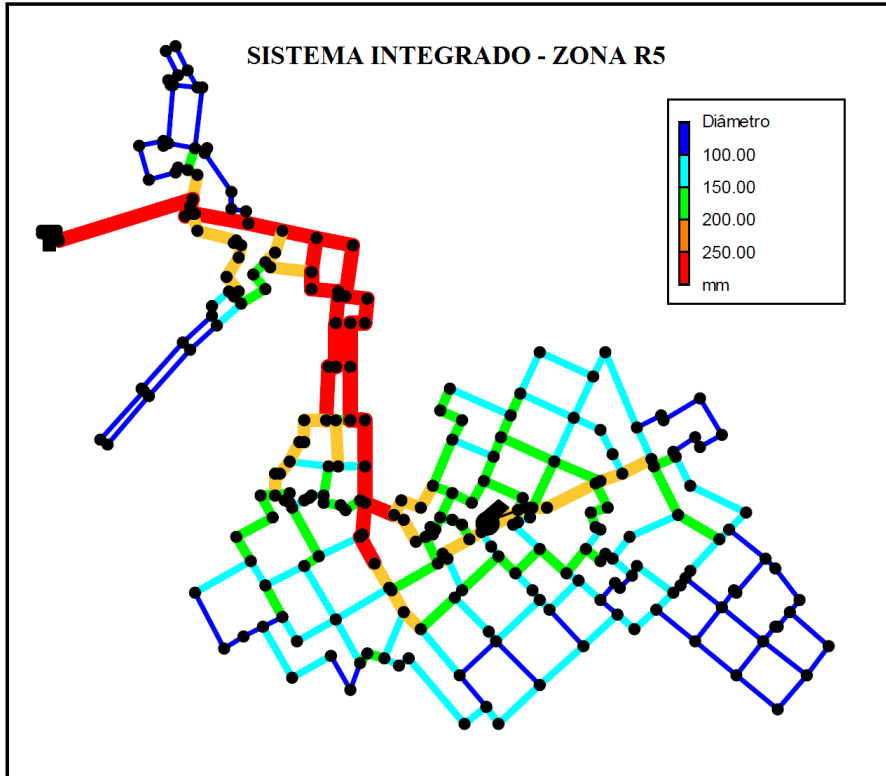


Figura 4.19 – Dimensionamento das tubulações da Zona R5

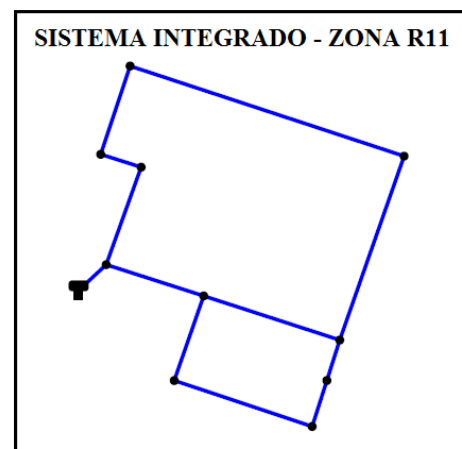
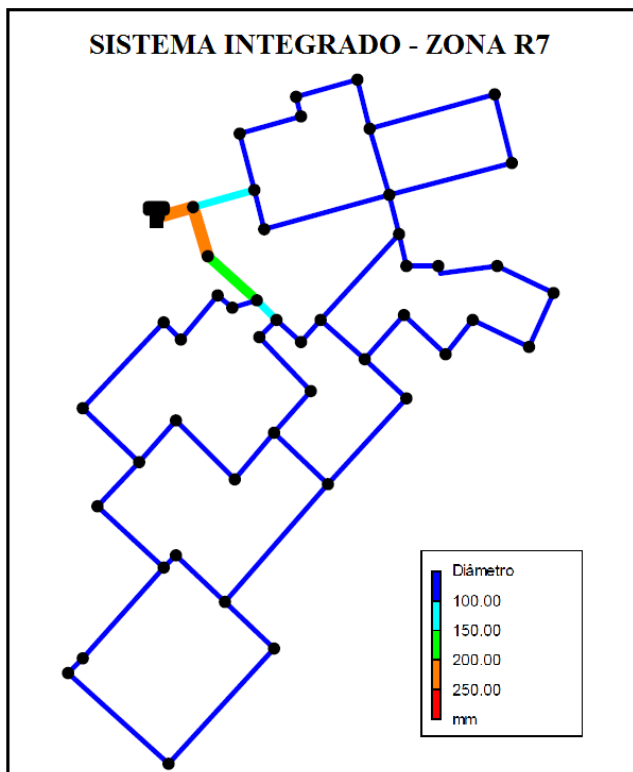


Figura 4.21 – Dimensionamento das tubulações das Zonas R7 e R11

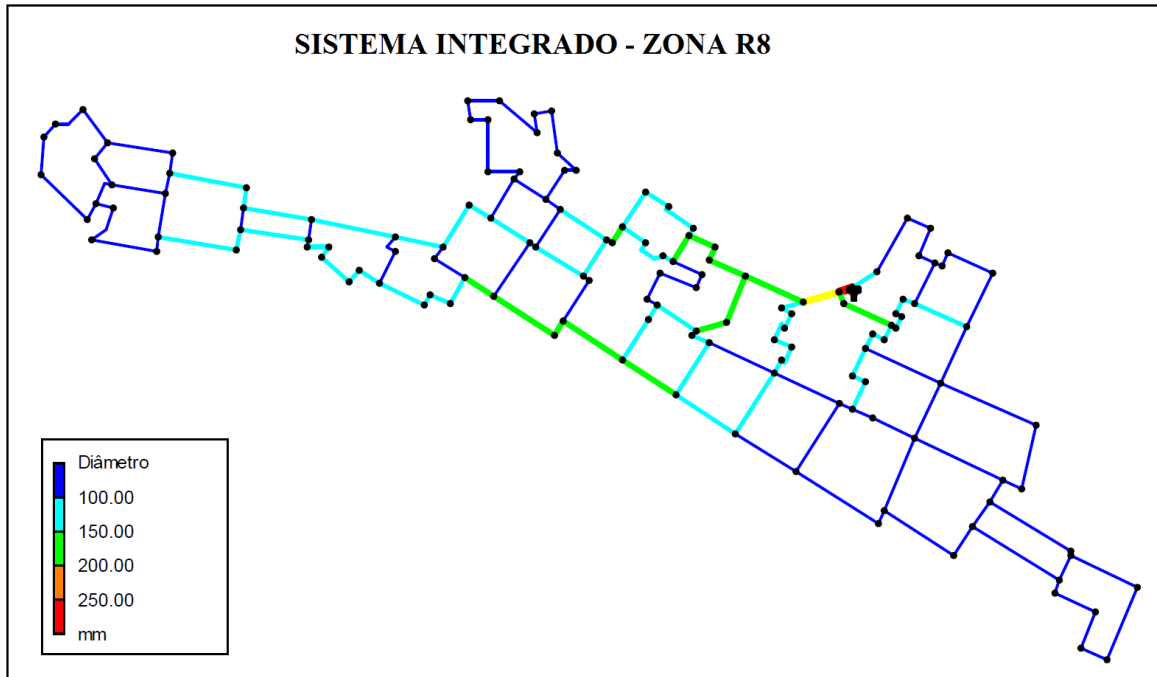


Figura 4.22 – Dimensionamento das tubulações da Zona R8

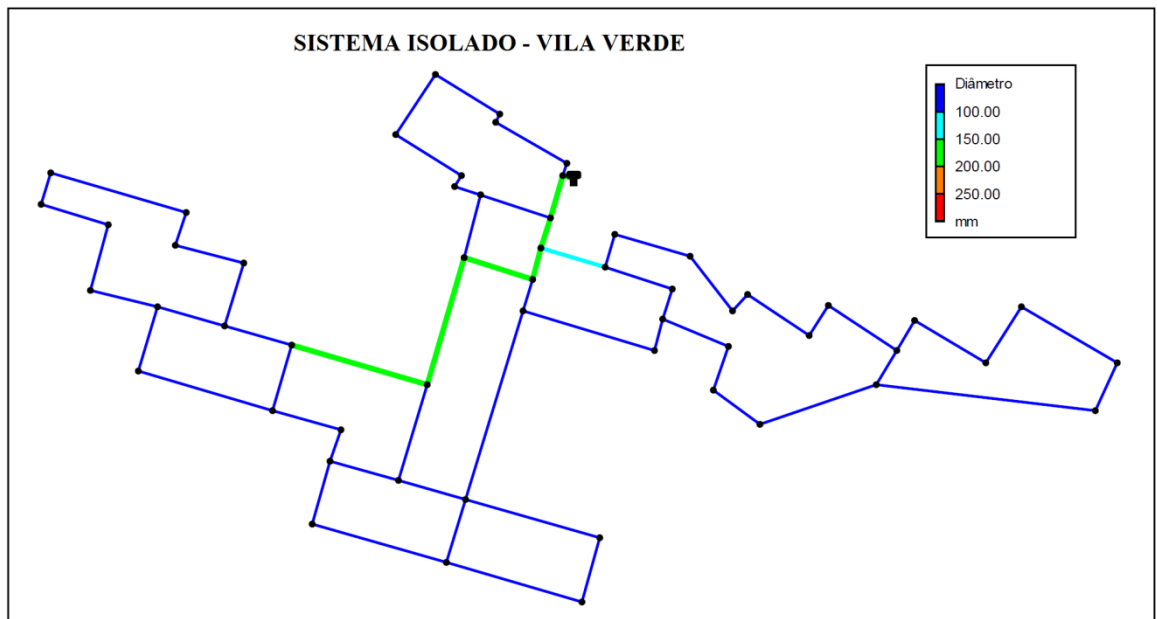


Figura 4.20 – Dimensionamento das tubulações do sistema isolado Vila Verde

O material considerado em todas as tubulações, para o dimensionamento da rede, foi o PVC. No entanto, cabe sugerir que, especificamente no trecho do sistema isolado Vila Verde que corta o córrego Josefa Gomes, seja feito um reforço na tubulação, ou então, que se aplique nesse trecho um material mais resistente, de forma que não haja problemas em decorrência de possíveis enchentes no córrego.

Com relação à velocidade na tubulação, apesar dos diversos esforços feitos durante o dimensionamento, essa não conseguiu atender ao valor mínimo determinado pela norma. O que se justifica pelas baixíssimas demandas exercidas nos nós da rede, devido às ainda baixas densidades demográficas consideradas no Cenário 2. Como é possível verificar através da Tabela 4.21.

Tabela 4.22 – Porcentagem de velocidades inferiores à mínima, por zona.

| <b>5</b> | <b>Zona do SAA</b>                | <b>6</b> | <b>Velocidades abaixo de 0,6 m/s (%)</b> |
|----------|-----------------------------------|----------|--|
|          | <b>Sistema Isolado Vila Verde</b> |          | 90                                       |
|          | <b>Zona R1</b>                    |          | 57                                       |
|          | <b>Zona R5</b>                    |          | 73                                       |
|          | <b>Zonas R7</b>                   |          | 56                                       |
|          | <b>Zona R8</b>                    |          | 66                                       |
|          | <b>Zonas R11</b>                  |          | 84                                       |

Para se alcançar a velocidade mínima estipulada pela norma, em redes de no mínimo 75 mm de diâmetro, é necessário que as demandas nos nós extremos sejam de, ao menos, 2,65 m/s. O que, se considerada a demanda *per capita* de 120 L/hab.dia e a área de influência do nó de 16 ha, se refere a uma densidade demográfica de cerca de 119 hab./ha. Sendo assim, para que a rede proposta se mostrasse adequada aos olhos da norma, seria necessário um adensamento ainda maior do que o proposto no Cenário 2.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo teve por objetivo avaliar, através da elaboração de um mapa de aptidão à expansão urbana, a sustentabilidade ambiental do ordenamento urbano vigente no Município de Formosa-GO. Propondo, a partir da construção de cenário, uma concepção de rede adequada ao ordenamento territorial prognosticado.

Nesse sentido, o mapa de aptidão à ocupação urbana ressaltou algumas incoerências verificadas no zoneamento proposto pelo Plano Diretor. Sendo a principal delas a incorporação de uma série de áreas inadequadas à zona destinada à expansão urbana, seja pelo alto risco associado a elas ou ao caráter de proteção ambiental.

Com relação à expansão do perímetro urbano, o mapa de aptidão confirmou o diagnosticado pelo Plano Diretor no que diz respeito às limitações impostas a ampliação da mancha urbana, o que se dá devido a diversos aspectos físicos referentes às imediações do perímetro, em especial, no que diz respeito ao relevo bastante acidentado, com acentuadas declividades, e à presença de diversos córregos e áreas de vegetação nativa. E, também, devido aos aspectos políticos e legais, vinculados à área de treinamento do exército e a divisa com o Distrito Federal.

A aplicação da lógica *fuzzy* para o critério de distância de infraestruturas existentes, cujo uso é incomum em estudos de zoneamentos em SIGs, atendeu bem ao seu propósito de favorecer a aptidão das áreas próximas às regiões com ocupações consolidadas. Esse que foi um dos fatores que favoreceram a identificação das áreas próximas às rodovias que chegam à cidade como uma das poucas áreas favoráveis a expansão urbana, conforme ilustrou o cenário 1.

Por meio da análise do uso do solo em 2015 foi possível verificar que, apesar de já ter sido atingido, aproximadamente,  $\frac{3}{4}$  do horizonte temporal do Plano Diretor, a ocupação rarefeita que havia sido diagnosticada se mantém na maior parte da cidade, havendo ainda, uma grande capacidade de adensamento da região sem que haja expansão do perímetro urbano.



Tal conclusão foi confirmada durante a construção do Cenário 2, no qual considera-se efetiva a aplicação dos instrumentos previstos pelo PD, resultando em um aumento da densidade demográfica nas zonas consolidadas. Esse que, quando respeitados os limites de impermeabilização do solo, pode se considerar um cenário desejável em termos de meio ambiente, uma vez que não acarreta aumento dos impactos ambientais relativos à apropriação de novas áreas para esse uso, e economicamente, pois permite a apropriação da infraestrutura existente, evitando que obras de ampliação sejam necessárias.

Com relação ao SAA existente, foi verificado que, entre as unidades avaliadas, a de tratamento e reservação se apresentaram incapazes de receber a demanda estimada para o fim do horizonte temporal, sendo necessárias obras de ampliação no decorrer desse período. A mesma inadequação foi verificada para a rede de distribuição atual, que se mostrou ineficaz no atendimento à população e no cumprimento das exigências feitas pela NBR 12.218 de 1994. Assim sendo, inferiu-se que a melhor solução para adequação seria a proposta de uma nova concepção de rede, buscando-se aproveitar ao máximo as estruturas existentes.

A adequação da rede atendeu bem às demandas espaciais previstas para a proposta de loteamento, feita pelo Plano Diretor e revista no Cenário 2, respeitando as recomendações feitas pela normativa, exceto pelas velocidades nas tubulações que, em sua maioria, resultaram em valores abaixo do limite mínimo. Isso se deu devido às baixas densidades demográficas verificadas até mesmo no Cenário 2.

Dessa conclusão, foi possível aferir que as condições de adensamento da população, e com isso da demanda, são fatores condicionantes, também, para o bom funcionamento da rede. O que mostra a necessidade de adensamento urbano no Município dentro dos limites discutidos, porquanto que, a partir de certo ponto, densidades demográficas altas também são prejudiciais ambiental e socioeconomicamente.

Como pontos negativos, é importante salientar que a imprecisão dos dados disponíveis e a dificuldade de obtenção de informações atualizadas foram questões prejudiciais aos resultados finais alcançados. Exemplos disso foram os critérios utilizados no mapa de aptidão, além das informações inerentes ao SAA e a demografia.

Em contrapartida, o uso do SIG ArcGis se apresentou muito eficaz, pois permitiu a manipulação e cruzamento de uma grande variedade de dados inerentes ao ambiente, o que garantiu uma visão mais ampla do problema, tornando mais rápido e fácil o alcance dos objetivos propostos.

O uso do programa EPANET mostrou-se bastante prático e adequado como modelo de simulação hidráulica e avaliação do sistema proposto. A combinação ArcGis - EPANET demonstrou-se eficaz na aquisição, apresentação, e manejo do sistema de abastecimento de água.

Por fim, os resultados deste trabalho poderão contribuir para:

- Elaboração de políticas que incentivem o adensamento consciente do perímetro urbano e a minimização de impactos ambientais e riscos à população devido à ocupação de áreas com baixa aptidão;

- Disponibilidade de um acervo de dados e informações em ambiente SIG, que podem ser usados para diferentes objetivos;

- Criação de um programa computacional, em linguagem Matlab, capaz aplicar o método dos componentes demográficos para a previsão da população futura, dadas as considerações;

- Base de dados na orientação de futuros planejamentos de readaptação do SAA existente em Formosa-GO, assim como para os demais componentes do saneamento ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994). NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994). NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.
- Almeida, W. S.; Souza, N. M.; De Carvalho, J. C. Produção de carta geotécnica preliminar e capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica Corumbá IV (GO). In: DE CARVALHO, J. C (Org.). Livro Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos. Brasília, DF. Universidade de Brasília, 2012, v. 4, p. 587-612.
- Brasil. Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001. *Estatuto da Cidade*. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: < [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: novembro de 2014.
- Brasil. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Dispõe sobre diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Disponível em: < [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: novembro de 2014.
- Brasil. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Código Florestal*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: < [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: novembro de 2014.
- Brasil. Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: < [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: novembro de 2014.
- Burrough, P. A. e McDonnel, R. A. (1998). *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, E.U.A., 333p.
- Câmara, G. e Davis, C. (2001). “Introdução”. In: Câmara, C., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (eds.) *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Sagres, Curitiba, Brasil, 1-1 - 1-5.

- Câmara, G. e Queiroz, G. R. (1998). *Fundamentos de Geoprocessamento*. INPE, Brasil.  
Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: novembro de 2014.
- Câmara, G., Casanova, M. A., Medeiros, C. B., Hemerly, A. e Magalhães, G. (1997). *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Sagres, Curitiba, Brasil, 193p.
- Câmara, G., Monteiro, A. M. V., Druck, S. e Carvalho, M. S. (2004). “Análise espacial e geoprocessamento”. In: Druck, S., Carvalho, M. S., Câmara, G. e Monteiro, A. M. V. (eds.) *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Embrapa, Brasília, Brasil, 1-1 – 1-26.
- Carmo, J. P. A., Souza, G. F., Polidoro, M., Lollo, J. A. (2011). “Análise da fragilidade ambiental em áreas urbanas. O caso do município de Londrina – PR”. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*. Vol. 1, 855-862, Curitiba, Brasil.
- Corseuil, C. W. (2006). *Técnicas de Geoprocessamento e de Análise de Multicritérios na Adequação de Uso das Terras*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 117p.
- Couto, L. M. M. (2012). *Elementos da Hidráulica*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 576 p.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., Duarte, V. e Barbosa, C. C. F. (2001). *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*. INPE, São José dos Campos, Brasil, 103p.
- Dias, J. E., Gomes, O. V. O. e Goes, M. H. B. (2009). “O uso do geoprocessamento na determinação de áreas favoráveis a expansão urbana no município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, Brasil”. *Geografia*, (13)2, 6-22.
- Faria, S. H., Calijuri, M. L. e Oliveira, J.C. (2009). “Uso de Softwares gratuitos (SPRING e EPANET) na simulação de pressão e vazão de uma rede de abastecimento de água”. *Anais do XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto*, 3729-3735, Natal, Brasil.
- Fonseca, M. R. S. (2008). *Avaliação Hidrológica para Subsidiar a Construção de Cenários Sobre o Futuro da Ocupação Humana na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama e do Córrego Cabeça de Veado – Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, Brasília, DF, 108p.
- FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

- Gomes, H. P. (2009). “Elementos básicos para a elaboração de projetos de abastecimento de água”. In: Gomes, H.P.(eds.) *Sistemas de Abastecimento de Água-Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias*. Editora Universitária - UFPB, João Pessoa, Brasil, 11 – 58.
- Gomes, H.P. (2009). “Operação de Sistemas de Abastecimento de Água - O programa EPANET”. In: Gomes, H.P.(eds.) *Sistemas de Abastecimento de Água-Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias*. Editora Universitária - UFPB, João Pessoa, Brasil, 183 – 240.
- Honda, S. C. A. L, Vieira, M. C., Albano, M. P., Maria, Y. R. (2015). “Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP)”. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, (7)1, 62-73.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades, Formosa – GO. Disponível em <[www.cidades.ibge.gov.br](http://www.cidades.ibge.gov.br)>. Acesso em: novembro de 2014.
- Jhon, M. H., Orlando, M., Jórdan, M. V. J., Andrés, A. H. C. (2013). “Áreas de expansión urbana em Tovar, estado Mérida-Venezuela”. *Revista Geográfica Venezolana*, 54(2), 241-257.
- Medeiros, J. S. e Câmara, G.; (2001). “GIS para estudos ambientais”. In: Câmara, C.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. (eds.) *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Sagres, Curitiba, Brasil, 10-1 – 10-36.
- Merenda, R. (2011). *Análise Temporal do Uso e Ocupação do Solo Mediante Classificação Digital, no Parque Estadual de Vila Velha*. Trabalho de Conclusão de Curso 1, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Geociências, Ponta Grossa, PR, 13p.
- Ministério Público do Estado de Goiás. (2010). Parecer N.009 Acerca do Serviço de Água e de Esgoto. Disponível em: < [http://www.mpggo.mp.br/portal/arquivos/2013/05/21/11\\_07\\_44\\_175\\_parecer\\_\\_\\_formosa.pdf](http://www.mpggo.mp.br/portal/arquivos/2013/05/21/11_07_44_175_parecer___formosa.pdf)>. Acesso em: julho de 2015.
- Moreira, F., Barbosa, C., Câmara, G. e Almeida-Filho, R. (2001). “Inferência geográfica e suporte à decisão”. In: Câmara, C., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (eds.) *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Sagres, Curitiba, Brasil, 9-1 – 9-49.
- MS, Ministério da Saúde. Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

- Nascimento, V. M. L. C. (2008). *Cartografia das Áreas Favoráveis à Ocupação Urbana no Município de João Pessoa/PB Utilizando Sistema de Informações Geográficas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa, PB, 128p.
- Nascimento, V. M. L. C., Lima, E. R. V e Santos, C. A. G. (2009). “SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB”. *Ambiente Construído*, (9)1, 107-123.
- Oliveira, A. R. e Moraes, M. E. B. (2014). “Análise do potencial à expansão urbana da bacia hidrográfica do Rio Almada (Bahia)”. *Caminhos de Geografia*, (15)49, 14-26.
- Oliveira, P. C. A. (2009). *Cenários Ambientais e Diagnose da Bacia Hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia-MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, MG, 143p.
- Peluzio, T. M. O., Saito, N. S., Klippel, V. H., Souza, S. M. e Santos, A. R. (2011). “Utilização de algoritmos de classificação supervisionada no mapeamento do uso e cobertura da terra no aplicativo computacional Spring 5.1.6”. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, 7808 – 7814, Curitiba, Brasil.
- Prefeitura Municipal de Formosa. Lei Municipal nº 147, de 14 de maio de 2014. Atualiza a Lei Municipal nº 251 de 2014 e dá outras providências. Disponível em: <[www.portaldatransparencia.gov.br](http://www.portaldatransparencia.gov.br)>. Acesso em: maio de 2015.
- Prefeitura Municipal de Formosa. Lei Municipal nº 251, de 20 de dezembro de 2004. Dispõe sobre a instituição do Plano Diretor e dá outras providências. Disponível em: <[www.sapl.formosa.go.leg.br](http://www.sapl.formosa.go.leg.br)>. Acesso em: novembro de 2014.
- Raphaela, C. C. M. (2006). *A Questão do Gabarito na Orla Marítima de João Pessoa (bairros de Manaína, Tambú e do Cabo Branco)*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Engenharia Urbana, João Pessoa, PB, 125p.
- Rossmann, L. A. (2000). *EPANET User's Manual*. EPA/600/R-00/057. USA: U. S. Environmental Protection Agency.
- Ruhoff, A. R. (2004). *Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas: Modelagem Ambiental com a Simulação de Cenários Preservacionistas*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, RS, 105p.
- Santos, A. R., Louzada, F. L. O. e Eugenio, F. C. (2010). *ArcGis 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais*. Caufes, Alegre, Brasil, 185p.

- SEDHAB. Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Regularização e Habitação (2012). “Zoneamento Escológico-Econômico do Distrito Federal”. Brasília, DF, 128p.
- SEPLAN. Secretaria de Planejamento e Coordenação de Goiás (1994). “Zoneamento Ecológico-Econômico da Área do Entorno do Distrito Federal”. Goiânia, GO, 192p.
- Shamsi, U. M. (2002). *GIS Tools for Water, Wastewater, and Stormwater Systems*. Asce Press, Reston, E.U.A., 374p.
- Sissom, L. E. e Pitts, D.R. (1972). *Elements of Transport Phenomena*. Mc Graw- Hill, Inc., E.U.A., 816p.
- SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2009. – Brasília: MCIDADES.SNSA, 2011. 616 p.
- Sobrinho, P. A. e Martins, G. (2006). “Abastecimento de água”. In: Tsutiya, T. T. (eds.) *Abastecimento de Água*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1 – 8.
- Tsutiya, T. T. (2006). “Concepção de sistemas de abastecimento de água”. In: Tsutiya, T. T. (eds.) *Abastecimento de Água*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 9 - 34.
- Tsutiya, T. T. (2006). “Consumo de água”. In: Tsutiya, T.T.(eds.) *Abastecimento de Água*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 35 – 66.
- Tsutiya, T. T. (2006). “Redes de distribuição de água”. In: Tsutiya, T. T. (eds.) *Abastecimento de Água*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 9 – 34.
- Veiga, A. J. P., Veiga, D. A. M. e Matta, J. M. B. (2010). “Vazios urbanos e sustentabilidade”. Universidade do Estado da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 20p.
- Vinha, T. M. (2011). *Elementos para Elaboração de SIG no Planejamento e Gestão para Expansão urbana em Álvares Machado – SP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Presidente Prudente, SP, 160p.
- Weber, E. J., e Hasenack, H. (2003). “O uso de geoprocessamento no suporte a projetos de assentamentos rurais: uma proposta metodológica”. *Anais do X Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliação de Perícias – X COBREAP*, Porto Alegre, Brasil.

## ANEXO A

### 1. OBJETIVOS

O presente anexo tem por objetivo apresentar o programa criado no *software* Matlab, com o propósito de calcular a população prevista, através da aplicação do método das componentes demográficas.

### 2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Segundo Formosa (2004), o método consiste em se estimar quinquenalmente a população através da aplicação de probabilidades de sobrevivência e acrescentar (ou subtrair) aos sobreviventes, assim calculados, o número de migrantes correspondentes a cada grupo.

Estas operações são realizadas dentro de cada coorte independentemente, em etapas quinquenais sucessivas, de tal forma que a população final da primeira etapa constitua a população inicial da segunda, e assim sucessivamente, até se alcançar o período total desejado. A cada etapa de projeção surge uma nova coorte, formada pelos nascimentos do período considerado, conforme ilustra a Tabela A.1.

| Coortes (C) | Grupos de Idade no Início do Período Quinquenal | Grupos de Idade no Final do Período Quinquenal |
|-------------|---|--|
| 0           | nascimentos no período                          | 0 - 4 anos                                     |
| 1           | 0 - 4 anos                                      | 5 - 9 anos                                     |
| "           | "   | "  |
| "           | "   | "  |
| "           | "   | "  |
| 15          | 70 -74 anos                                     | 75 -79 anos                                    |
| 16          | 75 e mais                                       | 80 e mais                                      |

Figura A.1. Evolução quinquenal das coortes

(Fonte: Formosa, 2004)



Duas fórmulas básicas compõem o programa, uma aplicável a primeira coorte 0 (Equação A.1), e outra aplicável às demais coortes (Equação A.2).

$$P_{s,c}^{t+5} = B_s^{t,t+5} \cdot m_{s,c-1}^{t,t+5} \quad (\text{Equação A.1})$$

$$P_{s,c}^{t+5} = P_{s,c-1}^t \cdot m_{s,c-1}^{t,t+5} + P_{s,c-1}^t \cdot M_{s,c-1}^t \quad (\text{Equação A.2})$$

Sendo

$$B_s^{t,t+5} = \alpha_s \cdot 5 \sum_{i=4}^{10} (F_i^{t,t+5} \cdot P_{f,i}^t) \quad (\text{Equação A.3})$$

Onde :

$P_{s,c-1}^t, P_{s,c}^{t+5}$  - é a população da coorte (c) por sexo (s) no início (t) e no final (t+5) do período quinquenal de projeto;

$m_{s,c-1}^{t,t+5}$  - é a taxa de mortalidade correspondente à coorte (c), por sexo (s), entre t e t+5;

$M_{s,c-1}^t$  - é a componente migratória correspondente à coorte (c), por sexo (s), entre (t) e (t+5);

$B_s^{t,t+5}$  - são os nascimentos ocorridos entre (t) e (t+5), por sexo (s);

$\alpha_s$  - é a proporção de nascimentos do sexo (s) ( $\alpha_f = 0,4902$  e  $\alpha_m = 0,5098$ );

$F_i^{t,t+5}$  - é a taxa de fecundidade por grupo e idade i (15-19, 20-24, ... , 45-49).

### 3. CONSIDERAÇÕES DO PROGRAMA

Algumas simplificações foram feitas para a criação do presente programa, são elas: a coorte 0 apresenta componente migratória nula, devido a não obtenção dessa informação para o Município de Formosa, pela mesma razão optou-se ainda por aplicar a taxa de mortalidade específica ao invés da probabilidade de sobrevivência, além disso não foi avaliada a evolução dos parâmetros ao longo do tempo, considerando-os constante ao longo de todo horizonte temporal.

Tais simplificações podem ser editadas, modificando-se o código do programa, que disponibilizado ainda no presente anexo. Como resultado final o programa obtêm tabelas com as populações segmentadas pelas diferentes coortes e sexos, a cada período quinquenal do horizonte temporal; a população total por coorte; e a população total geral.

Para rodar o programa no software Matlab, é necessário que os dados de entrada, se esses estiverem em formato de documento de texto, estejam salvos na mesma pasta que o programa. Os dados de entrada também podem ser inseridos manualmente um a um através do *command window* do Matlab.

## REFERÊNCIAS

Prefeitura Municipal de Formosa. Lei Municipal nº 251, de 20 de dezembro de 2004. Dispõe sobre a instituição do Plano Diretor e dá outras providências. Disponível em: <[www.sapl.formosa.go.leg.br](http://www.sapl.formosa.go.leg.br)>. Acesso em: novembro de 2014.

## CÓDIGO

```
clear all
format shortG

% CÁLCULO DA POPULAÇÃO - MÉTODO DAS COMPONENTES DEMOGRÁFICAS

% Dados iniciais
P0 = dlmread (input('Arquivo com população inicial = '));
f = dlmread (input('Arquivo com dados de fecundidade = '));
m = dlmread (input('Arquivo com dados de mortalidade = '));
MF = (input('Taxa de migração feminina = '));
MM= (input('Taxa de migração masculina = '));
HT = input('Horizonte Temporal(anos)= ');
n = (HT/5)+1;

disp( '* Escolha entre os resultados: ')
disp( 'XF = População feminina;')
disp( 'XM = População masculina;')
disp( 'XTC = População total por coortes;')
disp( 'XT = População total.')

%% Cálculo população

XF=zeros(16,n); % Matriz que vai receber população Feminina
XF(:,1)= P0(:,2);

XM=zeros(16,n); % Matriz que vai receber população Masculina
XM(:,1)= P0(:,1);

%Cálculo ano j

B= zeros(16,n-1); % Matriz que vai receber os nascimentos por coorte fértil
Xff = zeros(2,n-1);
Xfm = zeros(2,n-1);

for j=1:n-1

for y= 1:16
    B(y,j) = 5*f(y)*XF(y,j);
end

XF(1,j+1)= (0.4902*sum(B(:,j)))*(1-m(1,2));
XM(1,j+1)= (0.5098*sum(B(:,j)))*(1-m(1,1));

for i=1:14
    XF(i+1,j+1)=XF(i,j)-(m(i,2)*XF(i,j))+ (MF*XF(i,j));
    XM(i+1,j+1)=XM(i,j)-(m(i,1)*XM(i,j))+ (MM*XM(i,j));
end

for i=15:16
    Xff(i-14,j)= XF(i,j)-(m(i,2)*XF(i,j))+ (MF*XF(i,j));
    Xfm(i-14,j)= XM(i,j)-(m(i,1)*XM(i,j))+ (MM*XM(i,j));
end

XF(16,j+1)=sum(Xff(:,j));
XM(16,j+1)=sum(Xfm(:,j));
end

%% Resultados

XTC=zeros(17,n); % População total por anos e coortes
XTC(1,:)= [2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050];
XTC(2:17,:)=XF(:,:)+XM(:,:);

XT=zeros(2,n); % População total por anos
XT(1,:)= [2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050];
XT(2,:)= sum(XTC(2:17,:));
```