

USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

OLIVEIRA, Roberta Mara¹ & FORMIGA, Klebber Teodomiro²

RESUMO ---Este Trabalho apresenta uma ferramenta no suporte ao gerenciamento das redes de distribuição de água de uma área piloto na cidade de Goiânia-Go. A aplicação da ferramenta SIG integrada ao modelo hidráulico, teve como cenário os bairros Parque Ateneu e Jardim Mariliza, com o objetivo de avaliar as dificuldades de construção de tais modelos e seu uso como ferramenta para esse trabalho. No tocante à construção dos modelos, utilizou-se recursos de geoprocessamento para integrar bases de dados gráficas e alfanuméricas típicas de sistemas de água, em especial, o cadastro técnico da rede, o mapa urbano de referência, o mapa de altimetria e o perfil de consumo, usada como estudo de caso. Demonstra o processo de construção nas etapas CAD, GIS e finalmente no procedimento de integração para o programa de simulação hidráulica adotado, o EPANET extensão DC WATER. Os resultados demonstraram que podem ser produzidas informações para melhoria do conhecimento geral do sistema de abastecimento, pois o que ocorre é a grande dispersão de informação dentro da empresa gestora.

ABSTRACT--- This paper aims at presenting a tool for the support of management of water distribution nets in a pilot area in the city of Goiânia – GO. The application of GIS tool integrated to the hydraulic model had sectors Parque Ateneu and Jardim Mariliza as sceneries, with the purpose of evaluating the building difficulties of those models and its use as a tool for this paper. Concerning the building of the models, we used geoprocessing resources in order to integrate graphic databases and water system typical alphanumeric, especially net technical registration, urban map reference, altimetry map, and consumption profile, used as case study. The building process shows the EPANET DC Water Design Extension at stages CAD, GIS, and finally in the integration procedure for the adopted hydraulic simulation program. The results show that we can produce information for the improvement of general knowledge of the delivery system because what occurs is large spread of information inside the company in charge of the management.

Palavra Chaves: Sistema de Abastecimento de Água, Sistema de informação Geográfica, Modelo Hidráulico

1) Mestre em Engenharia do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFG. robertappgema@gmail.com

2) Professor da Universidade Federal de Goiás. Escola de engenharia Civil; Programa de Pós-graduação em Eng. Meio ambiente/PPGEMA

1 – INTRODUÇÃO

As cidades garantem a estrutura física para a comunidade urbana, porém, o expressivo crescimento destas, nas últimas décadas, transformou tais estruturas em sistemas muito complexos e difíceis de administrar. Dentre todas as estruturas de uma cidade, os sistemas de abastecimento de água merecem atenção especial, pois depende diretamente de um recurso natural cada vez escasso, a *água*. As companhias de água têm a tarefa de fornecer água, atendendo a crescente demanda, que exige maior quantidade de ligações ativas, que conseqüentemente acarreta em um aumento na extensão da rede e um maior volume de água produzida.

A operação eficiente desse sistema, requer o uso de ferramentas de análise que sejam robustas e de fácil utilização, que permitam a leitura de grandes quantidades de dados e que forneçam resultados consistentes para subsidiar a resolução dos conflitos e para auxiliar a gestão integrada do sistema de abastecimento, para isso os Sistemas de Informações Geográficas (SIG`s) utilizam gerenciadores de banco de dados para manipulação de informações e integram modelos de otimização e de simulação que usam algoritmos matemáticos específicos.

Com a utilização de ferramentas computacionais, como modelos hidráulicos e Sistemas de Informações Geográficas (SIG`s), é possível padronizar os procedimentos, dar auxílio nos processos de análise, operação, planejamento e tomada de decisão em sistemas de distribuição de água, dando assim suporte para a solução dos complexos problemas de planejamento.

As empresas de saneamento, ao decidirem investir em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), deparam-se com uma questão importantíssima: que funções implementar no sistema? O que um SIG pode fazer pela operação da rede de abastecimento de água?

O que tem se observado hoje, é que as empresas de saneamento estão fazendo algumas experiências em geoprocessamento, e não exatamente, implantando os SIG`s de uma forma deliberativa. Estas experiências são válidas, pelo fato de ser o primeiro contato com essa tecnologia, gerando a necessidade de uma abordagem mais sistêmica das funções de um SIG numa rede de distribuição de água.

Para todas essas questões, fica claro que um SIG, em empresas de saneamento, deve ser tratado corporativamente, é preciso envolver todos os setores da empresa, tornando uma organização participante, onde todos entendam que um SIG não é um software, é um sistema incluindo softwares, hardware, dados e pessoas.

Nenhum software de SIG suprem, todas as necessidades de um sistema de abastecimento de água, necessitando assim do desenvolvimento de novas metodologias, agregando softwares básicos de geoprocessamento à extensões específicas, como a de modelagem hidráulica, que visem à reabilitação e conhecimento destes sistemas buscando o funcionamento adequado dos mesmos, dentro de padrões técnicos satisfatórios e de condições que gerem menor impacto social e

ambiental. Além disso, é importante que se leve em consideração o aumento da confiabilidade e segurança dos serviços prestados.

A modelagem hidráulica em sistemas de distribuição de água vem sendo objeto de aplicação principalmente nos Estados Unidos, onde a ênfase tem sido dada para a repercussão de acidentes na qualidade da água distribuída e na condição de atendimento de demandas ocasionais por incêndios Walski et al. (2003). Porém, poucas experiências têm sido reportadas sobre a integração dos modelos hidráulicos nos Sistemas de Informações Geográficas.

É nessa linha que o estudo utilizará a modelagem hidráulica das redes com o intuito de simular a operação dos sistemas e extrair informações que possam ser úteis nos procedimentos de operação e controle da rede, como o auxílio do SIG. Mostrando a viabilização para a implantação dos serviços de abastecimento de água.

2 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2.1 - Modelagem na rede de distribuição de água

O modelo deve apresentar as características necessárias à correta representação funcional dos componentes físicos (trechos, válvulas, reservatório, bombas). A Figura 1 mostra esquematicamente alguns desses componentes.

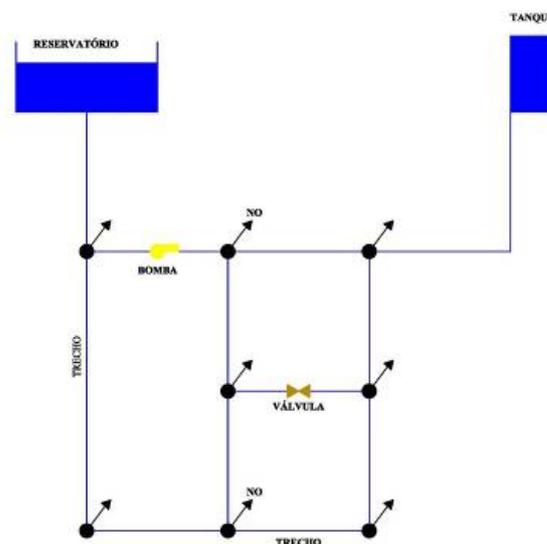


Figura 1– Elementos da modelagem de rede de água

Fonte : Rossman, 2002 (modificada)

A estrutura da rede modelada é constituída basicamente de linhas representando trechos da rede e pontos representando nós associados ao consumo de água em uma determinada área, sendo que a válvula e a bomba substituem um trecho e o reservatório e o tanque substitui um nó no modelo.

Rossman (2002), define nós como pontos da rede onde os trechos se ligam entre si e onde a água entra e sai da rede. Os principais dados de entrada para os Nós são: cota acima de determinado nível de referência (nível do mar), consumo base, qualidade inicial da água.

Os trechos são tubulações que transportam água entre vários pontos da rede. Suas propriedades são: diâmetro, comprimento e coeficiente de rugosidade. As válvulas e bombas são trechos da rede, a primeira que limita a pressão ou a vazão num ponto particular da rede e a outra transfere energia para o escoamento a sua carga hidráulica. Reservatórios de nível fixo e variável, são nós especiais que representam um volume de armazenamento de água, sendo que o primeiro tem capacidade ilimitada e carga hidráulica constante o outro com capacidade limitada e carga hidráulica variável.

Na modelagem de redes todos esses componentes, devem ser representados digitalmente, a partir da digitalização do cadastro da rede de água, realizada normalmente em formato CAD (desenho auxiliado por computador) e algumas vezes já se apresenta associada com banco de dados com suas características.

Para a maior confiabilidade da modelagem é preciso que esses procedimentos sejam sistematizados, de modo que haja uma atualização e revisão do cadastro da rede. O modelo deve apresentar as características necessárias à correta representação, quanto aos aspectos topológicos da rede (trechos conectados, registros, válvulas, reservatórios, bombas).

Os modelos de simulação de sistemas de abastecimento de água, são construídos tipicamente para examinar áreas preliminares: hidráulica e qualidade de água. O primeiro concerne a habilidade de fornecer água em quantidade suficiente e pressão razoavelmente constante em determinadas contingências (volumes elevados de água em alta pressão por curtos períodos de tempo, para combate a incêndios). O segundo concerne a habilidade de fornecer água de qualidade confiável, para vários objetivos (manutenção do cloro ou concentração de sólidos dissolvidos dentro de determinados limites prescritos). Os modelos de qualidade de água são tipicamente uma extensão de modelos hidráulicos básicos WHITE (1999).

A modelagem hidráulica de redes de água vem sendo objeto de aplicação com ênfase nas análises de perdas na rede e qualidade de água, ainda é incipiente o desenvolvimento de modelos voltados para a determinação de consumos na rede. Dentro desse contexto, existem no mercado da informática vários modelos de simulação hidráulica, entre eles o EPANET, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (US EPA), permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição sob pressão, contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, é capaz de modelar os dispositivos emissores como uma propriedade do nó e não como um componente separado, obtém os valores da vazão em cada tubulação, da pressão nos nós, da altura de água nos

reservatórios de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede, durante um período de simulação, subdividido em múltiplos passos de cálculo Rossman (2000).

2.2 - Demanda de água e variação de consumo

Dziegielwski et. al (2004), afirma que as concessionárias de abastecimento de água classifica seus consumidores, por meio de dados estatísticos da cidade, englobando os dados residenciais, comerciais, públicos e considerando as perdas do próprio sistema, reforça ainda que essas informações estatísticas podem variar de acordo com as condições climáticas, crescimento urbano e outros fatores que são determinantes no uso da água.

Gomes (2004) reforça ainda que a quantidade de água consumida em uma rede pública de abastecimento varia continuamente ao longo do dia, sob a influência das atividades e dos hábitos da população, condições de clima, estações turísticas. Há meses em que o consumo de água é maior (principalmente nas estações de verão) e dentro de um mesmo mês existem dias em que a demanda de água predomina sobre os demais.

Essa variação no tempo e no espaço de consumo de água num sistema de abastecimento deve levar em consideração o consumo diferenciado por área de influência, que será utilizado na quantificação das demandas de projeto dos setores que serão abastecidos pelos pontos ou nós de distribuição das redes de distribuição.

2.2 - Determinação de consumos

Os métodos de contabilização de parâmetros e de consumo por habitante e por ligação são os mais comuns e de mais imediata visualização entre os prestadores de serviços. No caso do primeiro, sua fragilidade maior está em que ao fixar como única variável explicativa a população, despreza uma série de fatores comprovadamente relevantes na determinação do perfil da demanda: tipologia habitacional, área construída, clima, atividades econômicas, renda dos usuários, preço do serviço e outras. O segundo, que relaciona os consumos por ligação ou por economia, tende a ser mais preciso que o anterior pelo fato de existir melhor exatidão e controle operacional sobre o número de ligações e, eventualmente, de economias do que sobre o número de pessoas servidas. Apresenta também vantagens no que respeita as categorias usuários ou classes de consumo que são bem definidos e estratificados entre os prestadores de serviço no Brasil. No mais, mantém as mesmas limitações do anterior. Em que pese às restrições apontadas, a obtenção de valores de consumo per capita confiáveis ainda é meta não atingida em grande parte dos serviços brasileiros. Silva e Rocha (1999).

Para Martins (2007) O consumo de água é estimado, como forma geral, a partir de valores diários específicos ou também chamados *per capita* da necessidade de água. Estes valores levam em conta todas as necessidades de consumo de água na edificação, sendo tabelados em função de seu uso e ocupação.

No caso geral, o consumo é definido em função da população fixa e transitória que ocupa a unidade. Nos edifícios com usos específicos, o consumo pode ser estimado em função da atividade exercida. Veja a tabela a seguir com alguns exemplos:

Tabela 2.1 consumos específicos de água

Uso da água	Consumo Especifico (litros/hab/dia)
Casa populares ou rurais	120
Residências	150
Apartamentos	200
Hotéis	120 (hóspede)
Escolas	150
Edifícios públicos ou comerciais	50

Fonte: Martins 2007 (adaptado).

2.4 - Integração do sistema de informação geográfica e modelagem hidráulica.

Assim como na grande maioria dos processos de informatização, entre eles o SIG, os primeiros modelos de simulação hidráulica tiveram início na década de sessenta, motivados pelos avanços na área da computação digital e que permitiram o desenvolvimento dos primeiros algoritmos voltados a solução dos complexos sistemas de equações que representam os fenômenos hidráulicos.

Diversos autores são unânimes ao afirmarem que a possibilidade de integração entre os softwares de modelagem hidráulica e os sistemas de informações geográficas, é devido as suas inúmeras peculiaridades e apresentam por conseguinte, diferentes níveis de compatibilidade entre a representação topológica dos sistemas hidráulicos, conversão de dados, exportação e importação de dados.

Segundo Tsou e Whittemore (2001), a integração de modelos com sistemas de informação geográfica é classificada em dois tipos: integração por meio de interface de transferência de dados entre o modelo e o SIG ou a integração das equações do modelo ao SIG.

Na primeira forma de integração, cria-se uma interface para conversão e transferência dos dados armazenados em camadas de informação do SIG para os arquivos de entrada dos modelos. Executa-se o modelo e utiliza-se novamente a interface para a transferência dos arquivos

de saída do modelo para camadas de informação do SIG, onde os resultados da simulação são apresentados.

A integração da modelagem hidráulica com os sistemas de informação geográfica nos sistemas de abastecimento de água ainda não é muito difundida entre as empresas de saneamento do Brasil. Um dos maiores entraves é a dificuldade em se estruturar as bases digitais com precisão necessária, sistematizar o monitoramento em campo, envolvendo a medição do consumo e dos pontos de controle de vazão e pressão. Um sistema de abastecimento de água, consiste em uma base de dados complexos e de difícil manutenção e atualização.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A implantação de sistemas de informações geográficas e a integração ao modelo hidráulico em uma rede de distribuição de água, aplicado na determinação de consumos, foram realizadas a partir das etapas, que serão demonstradas a seguir:

- estruturação dos dados da rede de distribuição da SANEAGO, para a implementação de um sistema de informações geográficas;
- implantação da modelagem da rede de distribuição de água;
- determinação de consumos na rede de distribuição;
- Interface SIG ARCVIEW® 3.2 e Simulador Hidráulico EPANET/DC WATER Design

Essas etapas, detalhadas a seguir, são tarefas interdependentes que direcionam aos objetivos propostos na pesquisa, aliados a um aspecto pragmático dos problemas enfrentados pelas companhias de saneamento e que possa servir como uma contribuição da instituição de ensino e pesquisa para a realidade de um sistema de abastecimento de água.

3.1 - Implementação de um sistema de informações geográficas.

A partir da base de dados disponível pela SANEAGO, os dados foram preparados para os modelos de rede de água por meio dos seguintes *softwares*: AutoCAD® Map 2004, desenvolvido pela AutoDesk que trabalha especificamente com dados vetoriais, com funções de análise, como a criação de topologia dos vetores (trecho- nó), a diferença entre o AutoCAD e o AutoCAD® Map, esta justamente na capacidade de fazer a ligação entre CAD e SIG, produzir mapas, integrar diversos formatos como o DGN, SHP, MID/MIF e mantêm as mesmas características do AutoCad.

O ARCVIEW® 3.2 desenvolvido pela empresa Environmental System Research Institute – ESRI, é um dos softwares de SIG mais divulgados na comunidade de geoprocessamento, pela sua funcionalidade e facilidade na manipulação dos dados, permite a confecção de mapas temáticos e análise espacial. Permite, através da linguagem Avenue, a programação orientada a objetos acrescentados ao programa, permitindo dessa forma desenvolver novas ferramentas, interfaces e aplicações.

DC WATER DESIGN é uma extensão do ARCVIEW® 3.2, que integra o módulo de simulação do EPANET , permite criar o ambiente de modelação hidráulica no ARCVIEW® 3.2, dessa forma as análises hidráulicas realizadas no EPANET, podem ser feitas no ambiente SIG. O EPANET 2 que é um simulador hidráulico, desenvolvido pela “U.S. Environmental Protection Agency” – EPA e de domínio público o que proporciona o aparecimento de muitas extensões para aplicações específicas, com interface para os sistemas de informações geográficas.

Neste estudo o ARCVIEW® 3.2 realizou a função de integrador da base de dados, aproveitando-se da funcionalidade de diversas extensões desenvolvidas para esse software, inclusive permitindo comunicação com o EPANET.

3.2 - Caracterização geral e localização

O município de Goiânia está localizado no estado de Goiás, na região Centro este do Brasil, entre as coordenadas geográficas 16°27'00" Sul, 16°01'50" Sul, 49°27'00" Oeste e 49°04'12" Oeste. A zona urbana ocupa uma área de 268 km², o que corresponde a aproximadamente 36% da área total do município, com aproximadamente 600 bairros. (Figura 2). A área de estudo compreende o setor de distribuição de água dos bairros, Parque Atheneu – Jardim Mariliza a Figura 3 mostra a área de estudo sobreposta a uma ortofoto na escala 1:5.000.

A ocupação é predominantemente residencial, com uma população estimada de vinte mil habitantes, uma área de 4,12 km² e 5.726 lotes, sendo 5.065 residenciais, 570 lotes vazios, 74 comerciais, 16 áreas públicas e um reservatório com capacidade de 2.500 m³. A rede de abastecimento tem uma extensão de 81 km, formada por condutos principais (anéis) de maior diâmetro entre 200 a 400 mm, e material Ferro Fundido. Enquanto que os condutos secundários, são predominantemente de diâmetro 50 e 75 mm e material PVC.

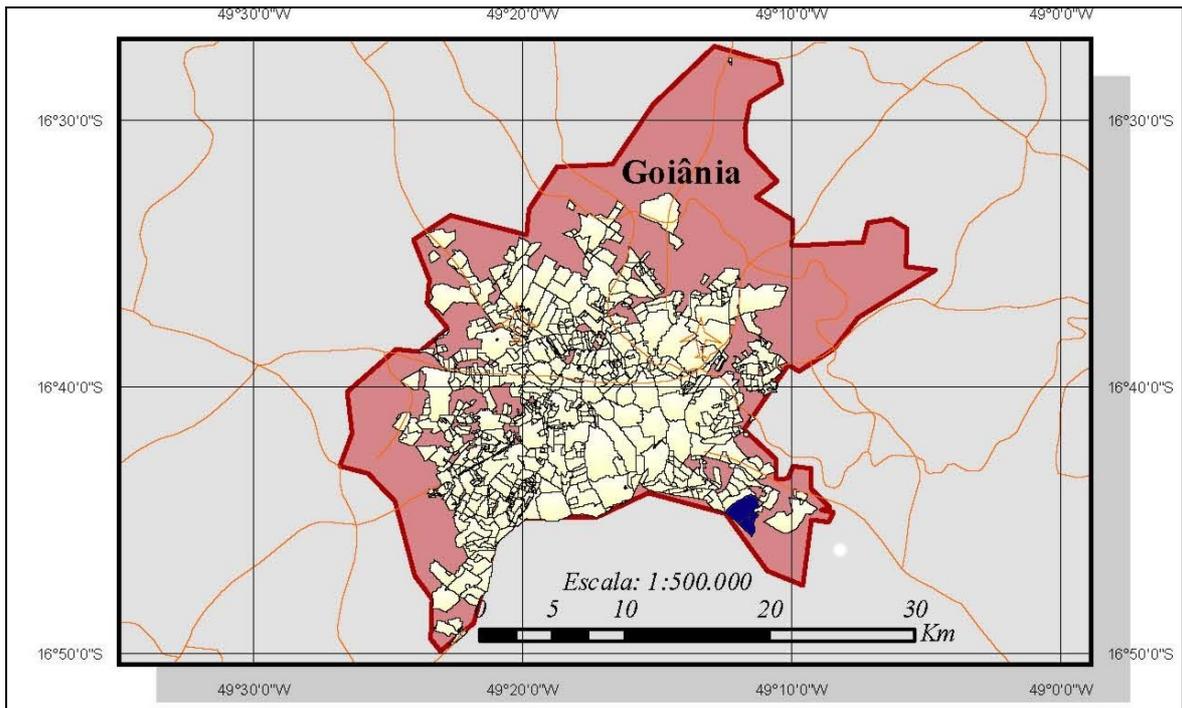


Figura 2 – Localização da área de estudo – Bairros de Goiânia.

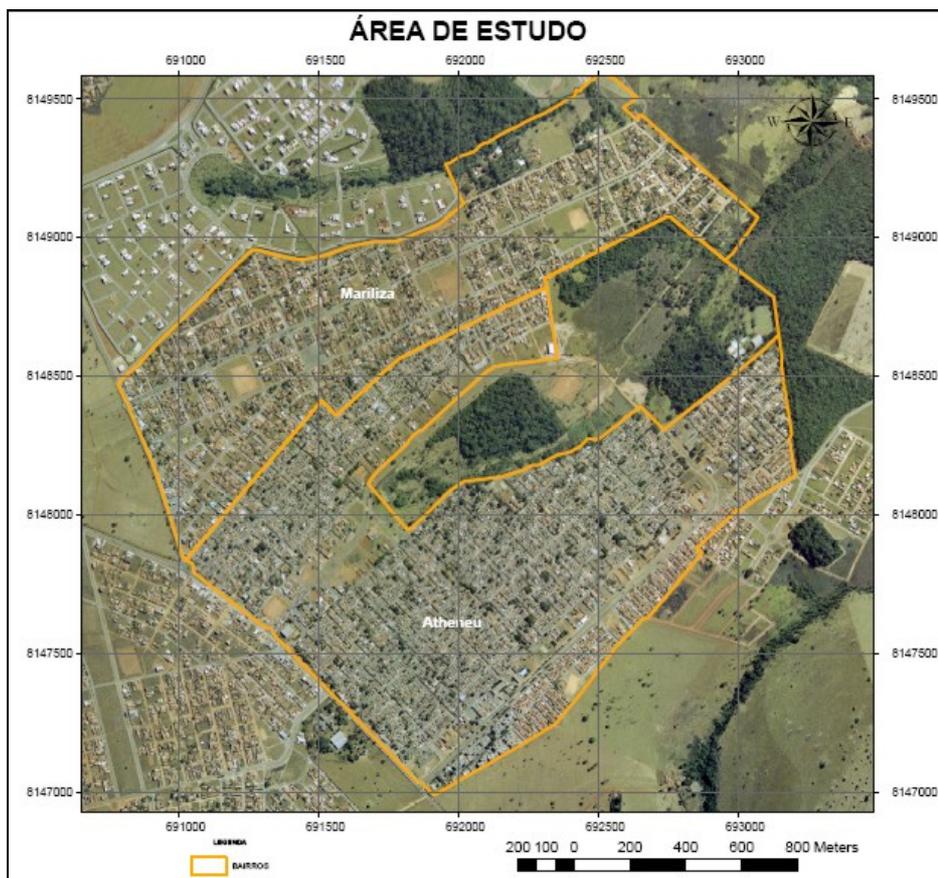


Figura 3 – Detalhe da área de estudo em sobreposição a ortofoto.

3.3 - Estruturação da base cartográfica digital

A base cartográfica digital da rede e curvas de nível com equidistância de um metro utilizada na pesquisa, foi cedida pela SANEAGO, a partir dessa base os dados foram preparados para a modelagem da rede por meio do software ARCVIEW® 3.2 e suas extensões. O cadastro das redes da SANEAGO esta em formato CAD do software AutoCAD.

As cartas topográficas foram à base principal desse mapeamento, que foi baseado em um levantamento topográfico em escala em escala 1:2.000 realizado nas áreas urbanas de Goiânia, sendo atualizadas parte com novos levantamentos e parte com projetos urbanísticos. Esse mapeamento subsidiou os mapas em formato *shapefile* (*SHP*) que constituem o MUBDG (Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia), elaborado pela Prefeitura municipal de Goiânia através da Companhia de Processamento de Dados do Município (COMDATA) e que contém as informações referentes ao cadastro dos lotes, que contemplaram informações sobre o endereçamento utilizado para vinculação dos consumos de água de cada usuário dos sistemas estudados. Em 2006 a Prefeitura municipal de Goiânia adquiriu uma ortofoto em escala 1:5.000, realizada por vôo aerofotogrametrico, para atualização e correção do MUBDG e cedida para a verificação da base da rede.

Ao avaliar os dados da base digital da área estudada observou-se que a situação da base digital é bastante favorável, apresentando basicamente a falta de estruturação dos dados digitais adequados para um sistema de informações geográficas. Diante dessa situação foi realizada uma sequência de procedimentos para a geração dos dados da base digital para a modelagem em SIG:

1. Edição, no AutoCAD® Map, do cadastro digital da rede dos sistemas selecionados para fins de introdução no software ARCVIEW® 3.2. Nesta etapa foram feitas as correções da topologia, que apresentava problemas de conectividade, como descontinuidade de trechos, quebra e sobreposição de linhas. A rede de distribuição era representada por, linhas que constituíam os trechos e os componentes nodais, válvulas de redução; válvulas de pressão; hidrantes; reservatórios estavam representados como blocos.

Essas correções foram executada no módulo *MAP* do AutoCad Map, esse módulo possui ferramentas de edição cartográfica, possibilitando a realização da consistência desses dados, com a criação de pontos de intersecção entre linhas, conectividade entre os trechos. Depois de feitas essas verificações os dados estão preparados para a criação da topologia, e vinculação desses ao banco de dados.

Assim, a rede de distribuição foi estruturada, em duas entidades vetoriais: pontos e linhas, este tipo de modelagem foi escolhido, por caracterizarem melhor as redes de distribuição de água, onde os elementos, tais como, reservatórios, nós de consumo, foram representados como

pontos e a representação do traçado da rede de distribuição como linhas, de forma a atender as necessidades de determinado trabalho.

Para a vinculação dos dados da rede em tabelas, foi necessário transformar as informações que estavam representadas de modo gráfico inseridos na forma de texto e descritas em layers, tais como tipo de material e diâmetro, para a forma de atributos em uma tabela. Esta etapa foi uma das mais trabalhosas, pois exigiu a edição de tabelas no software ARCVIEW® 3.2.

2. A edição das curvas de nível, para a criação do modelo digital do terreno (MDT) da área estudada para a extração das cotas topográficas dos nós da rede, foi verificada a continuidade das curvas, e o atributo de elevação. Após essa verificação os dados foram exportados para o formato SHP.

3. Seleção dos lotes da área de estudo e verificação do endereçamento, e classificação dos lotes a partir dos dados do cadastro (residencial, comercial, áreas públicas municipais, vazios urbanos).

4. Ortofoto usada para a confrontação dos dados do cadastro, onde foi verificada a inconsistência entre o cadastro da prefeitura e a realidade da ortofoto, assim, a classificação dos lotes foi atualizada.

Após a estruturação da base digital e criação da topologia, os elementos, tais como, redes, representados como entidades de linha e os elementos representados como entidades pontos, foram exportados para o formato ShapeFile (SHP), que é uma estrutura de dados que armazena a geometria e informação de atributos para características geográficas em um conjunto de dados, o shapefile tem uma velocidade de processamento mais rápida do que os equivalentes topológicos, como arquivos em AutoCad (por exemplo rede.dwg), resultando em maior eficiência na edição de desenhos, reduz a necessidade de espaço em disco e sobreposição de layers.

3.4 - Modelos hidráulicos do sistema de distribuição de água

No presente estudo, as análises hidráulicas foram realizadas em ambiente SIG, dessa forma optou-se por uma extensão do ARCVIEW® 3.2, que integrasse o modelo hidráulico EPANET. Macke (2005), apresenta o manual do DC WATER DESIGN onde mostra as etapas da integração desses softwares, de forma, amigável. Os valores de pressão e vazão na rede são obtidos, por equações de continuidade e da conservação da energia e a relação entre a perda de carga e vazão, que caracterizam as condições de equilíbrio hidráulico da rede num determinado instante. A perda de carga é constituída pela variação do nível da linha de energia em dois pontos quaisquer tomados em um escoamento medidos em altura de coluna de água. A vazão é o volume líquido que escoou através de uma secção (de um tubo) por unidade de tempo (litros por segundo). Os valores de

vazão são obtidos em cada trecho, da pressão em cada nó, da altura da água em cada reservatório de nível variável, durante o período de simulação, subdividido em múltiplos passos de cálculo (LNEC, 2002).

Para entrada de dados no simulador hidráulico, os níveis de informações (*temas*) que foram adicionados anteriormente no ambiente SIG, são correlacionados com os temas do EPANET, nesta etapa o software faz o reconhecimento da topologia dos trechos e identifica cada nó representativo (válvulas, reservatório, nos de consumo) , verificando a conectividade entre os nós e trechos, criando os identificadores para cada nó (*DC_ID*) que será ligado a cada trecho, identificando o seu início e o fim, denominados *Node 1 e Node 2*. Evitando possíveis erros de conectividade.

A estrutura da rede para a modelagem é constituída por componentes Físicos e Não Físicos, o EPANET modela objetos físicos que compõem um sistema de abastecimento de água, assim como os seus parâmetros operacionais. Os componentes físicos são representados por trechos e nós. Os trechos representam as tubulações (material, diâmetro e rugosidade) que transportam água entre vários nós da rede. Os nós são pontos que interligam os trechos em duas ou mais tubulações, que se unem, para a ocorrência de escoamento do líquido que passa por esses trechos, com dados de entrada de consumo base e cota topográfica. Os dados não físicos são aqueles relativos aos resultados do modelo como: curvas de bombas, curva de rendimento, curva de volume, curva de perda de carga, padrões temporais, controles.

3.5 - Espacialização dos Nós de Consumos.

O método utilizado para a ligação dos nós de consumos as unidades consumidoras, foi delimitação por área de influência onde a área é determinada pela mediatriz do trecho da rede, assim cada nó é associado ao consumidor, à estimativa de consumo pode ser obtida identificando cada consumidor (residencial, comercial e industrial), e relacionando a ele um fator multiplicativo. Este método considera que exista homogeneidade de comportamento entre consumidores, o que se aplica na área de estudo, que é tipicamente doméstica.

Dessa forma foi estudada a melhor forma de ligar os nós as unidades consumidoras, o problema consiste em determinar uma área de influência para cada nó, que represente o consumo total correspondente.

Inicialmente fez a opção de trabalhar com o método de Thissen, porém para esse método foi verificadas, inconsistências, falhas de associação (consumos associados a nós errados), assim pode ser verificado que por este método alguns lotes foram ligados a nós pertencentes á rede que estava fora da área de influência. Outro ponto negativo deste método é inflexibilidade dos polígonos, uma vez que, sempre que a rede for atualizada deverá ser gerados novos polígonos de

Thiessen.

A segunda tentativa o método adotado foi à determinação semi-automática por busca espacial. Esse método mostrou uma solução mais prática em relação ao primeiro, onde cada lote foi conectado ao nó de sua área de influência, ou seja a metade da extensão do trecho ligado ao nó, sem sobreposição de informação, com um único identificador para cada lote. Este procedimento foi realizado através de linguagem de programação própria do software ARCVIEW® 3.2, na linguagem Avenue.

Apesar do método não ser totalmente automático, ele é relativamente rápido e de fácil utilização, garantindo assim acesso a todos os operadores do sistema, sem ser necessariamente um técnico especializado. A Figura 4, mostra os lotes ligados a um único nó, e a relação entre os campos *ID_NO* da tabela Lotes e *DC_ID* da tabela Nó_Consumo.

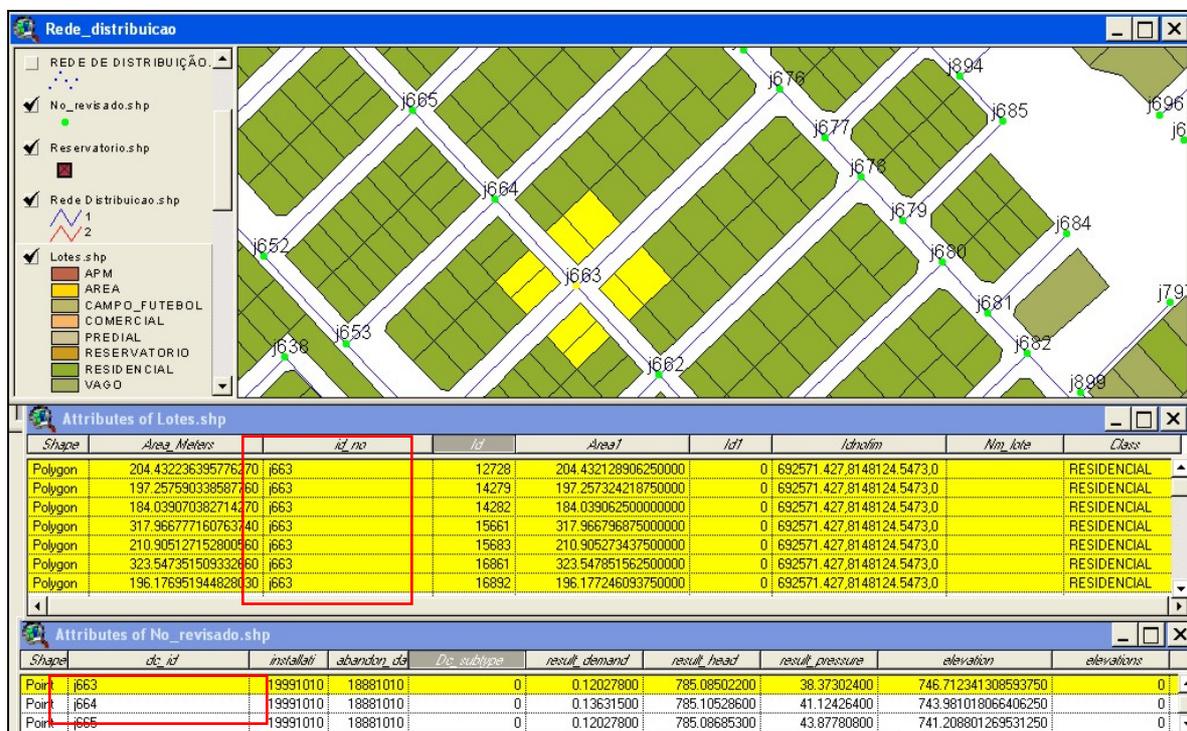


Figura 4 - Lotes ligados aos nós de consumo.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Análise da Base Digital

Ao avaliar os dados da base digital da área estudada observou-se que a situação é bastante favorável, apresentando basicamente a falta de estruturação dos dados digitais adequados para um sistema de informações geográficas. Um dos problemas identificados foi à falta de sistematização do cadastro de informação do sistema de abastecimento existente.

Um sistema de distribuição de água fundamenta-se em uma grande quantidade de informações, que devem ser tratadas e manuseadas, essas informações provem das mais variadas fontes, disponibilizadas sob a forma de planilhas eletrônicas, banco de dados (diferentes em cada setor da companhia), cartas topográficas (atualização diária com novas ligações), plantas de projeto, etc. A organização dessas informações é o primeiro passo para a gestão eficiente desses sistemas.

Na etapa de estruturação da base digital, foi realizada a correção da topologia, onde foi observada a descontinuidade dos trechos, quebra e sobreposição de linhas. A rede de distribuição era representada por, linhas que constituíam os trechos e os componentes nodais.

Dessa forma a rede de distribuição da área estudada foi descrita de forma adequada, e os dados preparados para a plataforma SIG. A Figura 5 mostra vários temas sobrepostos sendo que uma rede de distribuição está sendo selecionada, cujos atributos podem ser visualizados na caixa de texto. Com essa estrutura é possível fazer consultas aos atributos técnicos sobre um trecho da rede, tais como diâmetro da tubulação, extensão da rede, tipo de material, alterações e atualização dessas informações, geração de gráficos, novos mapas, do sistema de abastecimento de água sempre que necessário. Essas são algumas das características de um SIG.

As informações referentes ao cadastro de consumidores (lotes) da área de estudo, foram classificadas segundo o uso, a partir dos dados do cadastro da prefeitura, o levantamento de lotes vagos foi realizado através da ortofotocarta, do ano de 2006.

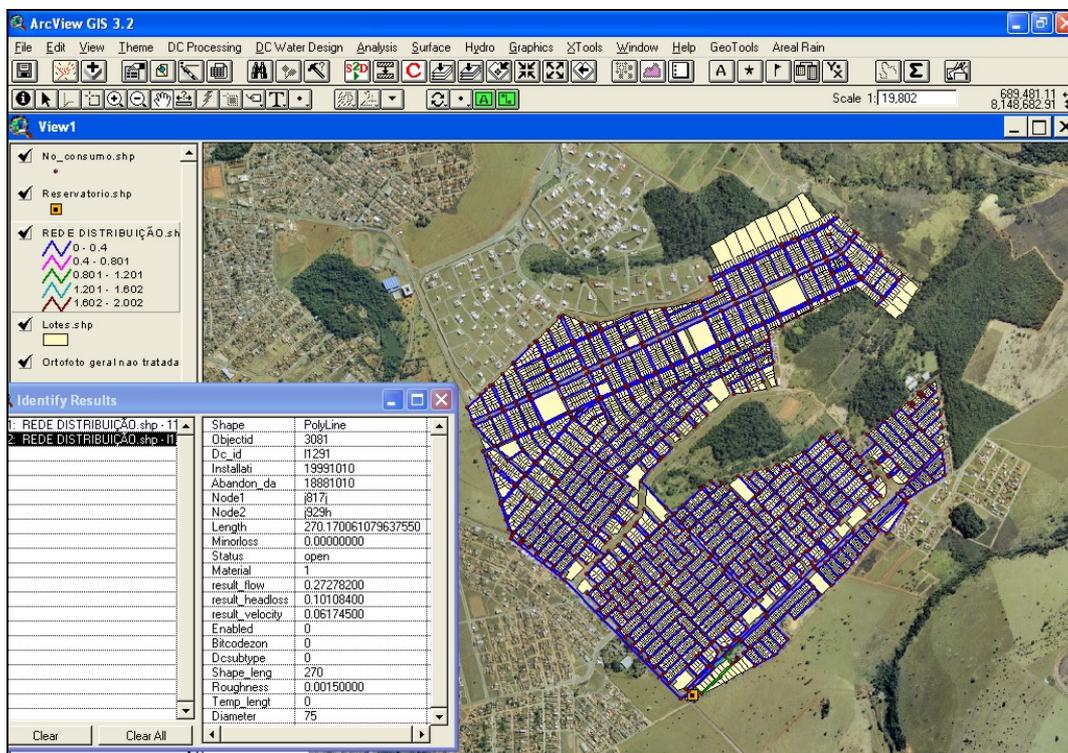


Figura 5 – Plataforma SIG da rede de distribuição de água da área em estudo.

Para o presente estudo o conhecimento da distribuição espacial das ligações era em função da necessidade de obtenção de dados da quantidade de ligações por nó na rede de distribuição para fins de cálculo de consumo de água.

4.2 Componentes Físicos que compõe a Rede de Distribuição

A representação dos componentes físicos da rede de distribuição foi decisiva para o êxito do modelo podendo assim caracterizá-lo de forma adequada através de parâmetros de cada um de seus elementos, devendo ser conhecidos os diâmetros das tubulações, seus comprimentos e rugosidades, cotas dos nós, interligações, localização de reservatórios e suas principais características e os consumos identificados através de sua posição e valor médio de consumos. Os componentes físicos são aqui representados por nós e trechos. Foram considerados 903 nós com dados de entrada de consumo. Esses nós foram distribuídos na rede de distribuição.

Os trechos representam as tubulações que transportam água entre vários nós da rede, conectados entre si, garantido um fluxo contínuo na rede, na modelação de um escoamento, além de se ter um conjunto de equações que representem o estado do fluxo, é necessário uma adequada descrição da configuração da rede.

O comprimento total da rede de distribuição localizada na área de estudo é de 81 Km, distribuídos em 1.187 trechos o comprimento foi subdividido de acordo com o diâmetro da tubulação. A Tabela 1 quantifica a rede de distribuição quanto o tipo de material e diâmetros.

Tabela 1 – Subdivisão do comprimento total da rede e seus respectivos diâmetros e material.

Diâmetro (mm)	Material	Extensão (Km)	Porcentagem (%)
50	PVC	62,95	75,27
75	PVC	6,17	7,62
100	PVC	2,35	2,90
150	FERRO FUNDIDO	2,82	3,48
200	FERRO FUNDIDO	4,56	5,63
250	FERRO FUNDIDO	0,87	1,07
300	FERRO FUNDIDO	0,65	0,80
400	FERRO FUNDIDO	0,60	0,74

O grau de detalhes que se deve utilizar para descrever a topologia da rede é uma questão muito importante, ou seja, a modelação das tubulações e acessórios deve representar a realidade da

melhor maneira possível. Para tanto, mesmo possuindo indicações na literatura, deverá haver investigações para cada elemento modelado.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi obtido pela transformação do vetor curvas de nível para o formato grid (uma malha de dados regularmente espaçada) através do método de interpolação triangular (TIN) usando modelo polinomial de primeira ordem, com cotas do terreno variando de 700 - 805 metros em relação ao nível do mar. O formato GRID, por ser uma estrutura raster, quando atribuído os valores de cota de elevação aos nós mostraram maior precisão que a estrutural vetorial das curvas de nível.

4.3 - Distribuição espacial dos consumos dos nós

Nesta pesquisa os nós foram inseridos nas intersecções dos trechos da rede, com base na análise cartográfica e na disposição de cada lote, método baseado na área de influência. Por ser um método que fornece estimativa e tem maior flexibilidade, devido à falta de informação e acesso aos dados de faturação da empresa de saneamento.

A cada nó de consumo foram atribuídos os consumos dos lotes na área de influência. As demandas nos nós foram atribuídas através de valores médios de consumo apresentados na literatura. As demandas do setor são eminentemente residenciais, sendo distribuídas conforme critério de distribuição apresentado no método.

A figura 6 mostra um nó selecionado e os lotes que estão ligados a ele. Esse método garante que um lote esteja conectado a apenas um nó.

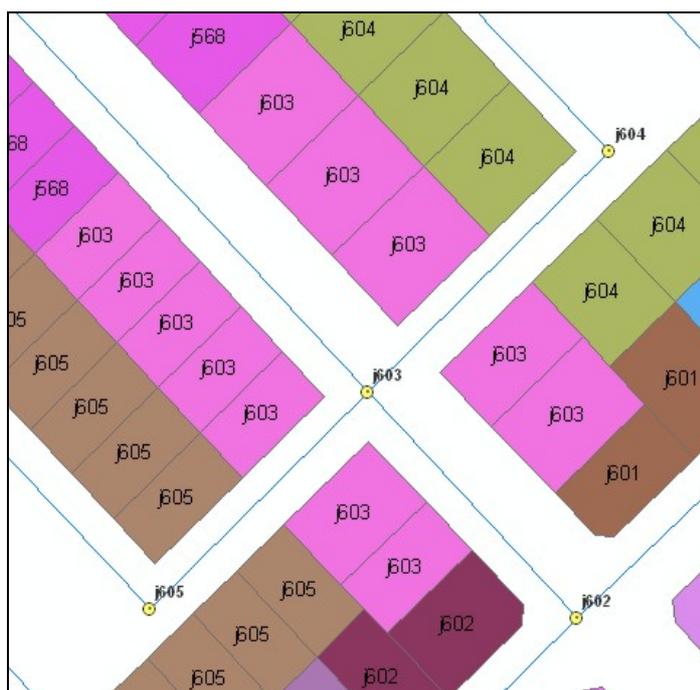


Figura 6 – Seleção do nó de consumo e lotes interligados.

4.4 - Simulação na rede de distribuição de água

DC WATER DESIGN é uma extensão do ARCVIEW® 3.2, que integra o módulo de simulação do EPANET permitindo que os resultados sejam visualizados através de tabelas, gráficos e mapas. Para os nós, os parâmetros de simulação hidráulica disponíveis para visualização a cota e o consumo-base foram atribuídos, os dados calculados na simulação são: o consumo total em cada instante da simulação, a carga hidráulica (altura piezométrica) e pressão. Para as tubulações estão disponíveis a visualização do comprimento, do diâmetro e a rugosidade dos tubos, sendo as grandezas calculadas na simulação a vazão, velocidade e perda de carga.

4.4.1 Simulação Dinâmica

No processo de simulação foram considerados os seguintes parâmetros: a fórmula de perda de carga utilizada foi a de *Darcy-Weisbach* por ser a única usada pela extensão do modelo hidráulico. A unidade da vazão adotada foi l/s. O número máximo de iterações para resolver as equações de cálculo hidráulico foi de 40 iterações. O erro máximo de convergência adotado foi de 0,001. O período total de simulação foi definido em 24 horas e o passo de cálculo hidráulico foi de 1(uma) hora, sendo que a simulação inicia à 0 (zero) hora.

Para a execução da simulação dinâmica, foi criado um padrão temporal, representando a variação do consumo ao longo de 24 horas nos nós. Foram considerados 3 dias (72 horas) para a duração total da simulação. Os fatores multiplicativos foram utilizados para a melhor representação da variação do consumo na rotina da população, considerando a característica residencial da área de estudo. O padrão temporal associado ao reservatório e aos consumos nos nós, permite a variação dos níveis de água durante as 24 horas de simulação. Para o reservatório, considerou que a carga hidráulica seria variável ao longo do tempo. A curva de consumo na rede foi para o período de 24 horas, mostrou variações de consumo na rede estudada, entre 32 (l/s) a 57 (l/s), relação vazão x tempo. A Carga hidráulica no reservatório representa o nível de água durante o período de 24 horas. O modelo hidráulico EPANET os níveis de água são atualizados em cada passo de cálculo. De acordo como padrão temporal que lhes é associado.

4.4.2 - Análise hidráulica da Rede.

A rede de distribuição da área de estudo é do tipo malhada, possui uma tubulação tronco formando anéis de diâmetro maiores (250, 300, 400) e material ferro fundido, esses anéis abastecem diversos pontos da rede.

Para redes malhadas Porto (2006), estabelece que para manter o equilíbrio no sistema, é necessário que, a soma algébrica das perdas de carga (partindo e chegando ao mesmo nó) em qualquer circuito fechado dentro do sistema seja igual à zero. Na rede em estudo pode ser notado o equilíbrio em grande parte da rede, porém nota-se que uma área próxima ao reservatório (Figura 7), especificamente a quadra de conjunto habitacional de prédios de 4 pavimentos, onde se concentra as maiores demandas de consumo. Foram observadas perdas de carga nos trechos entre 16,84 m/km a 73,99 m/km, o que esta diretamente relacionada com os resultados apresentados no cálculo das velocidades nessas tubulações que foram nos intervalos de 0,1 m/s a 1 m/s. Estas perdas elevadas podem causar problemas de regularidade de abastecimento nesses trechos.

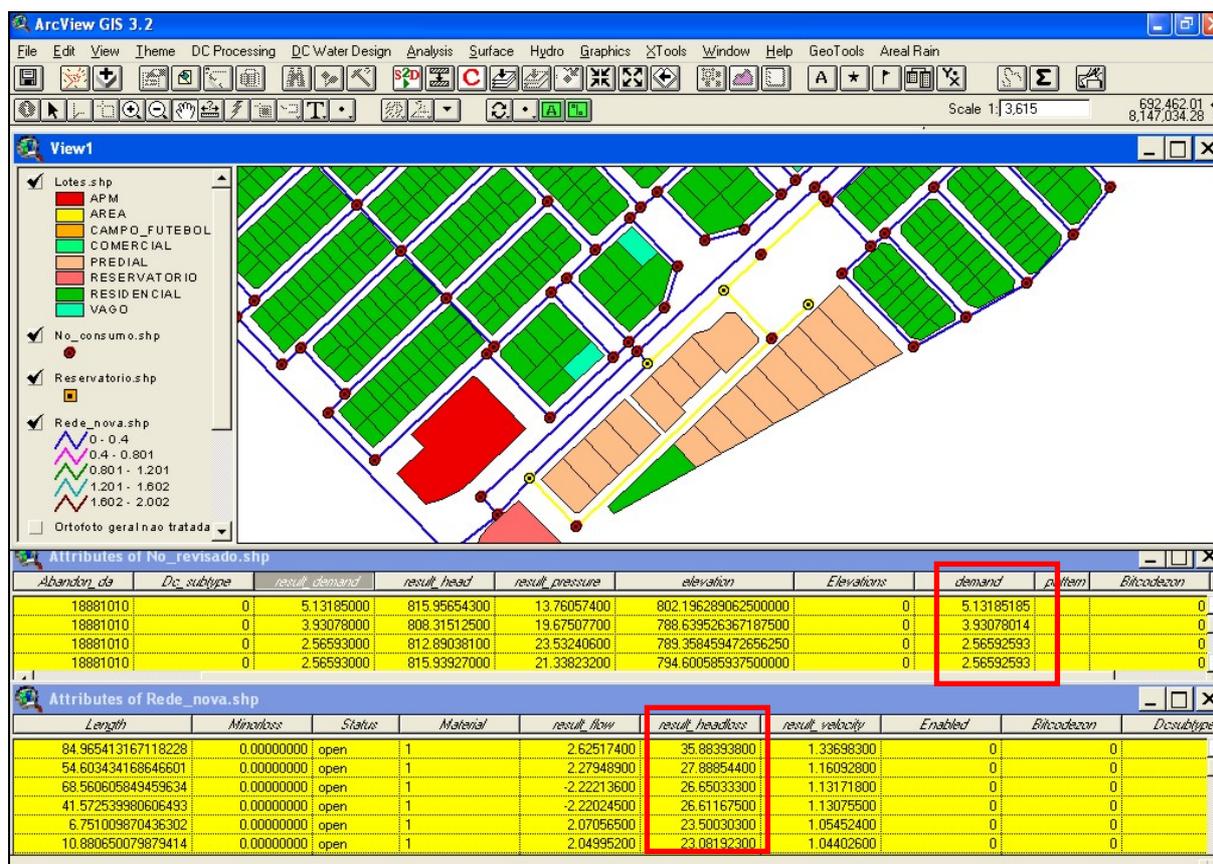


Figura 7- Área com maiores perdas de carga

Os resultados apresentados nas perdas de carga da rede em estudo, na grande maioria, corresponderam a velocidades mínimas entre 0,02 a 1,00 m/s, o que esta abaixo do mínimo estabelecido, (0,6 m/s e 3,5 m/s pela NBR 12218/94), estas velocidades podem provocar reações de qualidade de água, que ocorrem na interface com a parede da tubulação (reação com o próprio material da parede e/ou com os biofilmes existentes) pois estas reações estão relacionadas com a concentração no volume do escoamento. Deve-se levar em consideração que em alguns trechos, a idade da tubulação é maior que 15 anos e que o material é do tipo ferro fundido, o que aumenta a rugosidade, devido aos fenômenos de incrustações e de turberculização de produtos de corrosão nas

paredes das tubulações. Em consequência do aumento da rugosidade, resultando em maiores perdas de carga através da tubulação.

5 - CONCLUSÕES

A integração de modelos hidráulicos aos sistemas de informações geográficas exige cuidados preliminares na montagem da base de dados. As empresas de saneamento devem ficar atentas em alguns aspectos importantes, como o cadastro digital da rede, que devem ser construídos, levando em consideração os elementos funcionais de modelagem. Além da atualização, que deve ser executada pelas equipes responsáveis pela execução e alteração da rede de distribuição, para isso o sistema deve ser descentralizado e supervisionado por um setor responsável pelo SIG, revisando e mantendo a base de dados.

Quanto à modelagem da rede é preciso que a vinculação com o banco de dados, faça parte do sistema de informação da rede, e seja um processo natural de aplicação diariamente. A estrutura da rede deve levar em conta a simplicidade do modelo funcional, a rede deve ser representada por linhas e nós, uma corresponde aos trechos e o outro corresponde às conexões dos trechos. Apesar da aparente simplicidade, essa representação deve conter todas as informações necessárias para a comunicação visual dos elementos do sistema. A rede de distribuição em estudo representa uma configuração extensa com 81 km e 1.187 trechos e 903 nós. Assim ela exigiu um maior esforço na etapa de modelagem, uma vez que esta exige uma estrutura simplificada, sem elementos gráficos complexos, pois dessa forma a criação e a manutenção da base de dados torna-se facilitada.

As maiores dificuldades encontradas na pesquisa foram quanto ao entendimento do procedimento de simulação do modelo hidráulico EPANET/DC WATER e a integração do modelo com o software ARCVIEW 3.2. E a espacialização dos nós de consumo, para a etapa de ligação dos nós de consumo as unidades consumidoras. Foi estudada a melhor forma de ligar os nós as unidades consumidoras, o problema consistiu em determinar uma área de influência para cada nó, que represente o consumo total correspondente, foi empregado primeiramente o método de Thiessen, que apesar da facilidade do processo, demonstrou inconsistência no vínculo entre nós de consumo e unidade consumidora, o que exigiu um ajuste manual dos polígonos gerados por esse método. A segunda tentativa o método adotado foi à determinação semi-automática por busca espacial. Esse método mostrou uma solução mais prática em relação ao primeiro, onde cada lote foi conectado ao nó de sua área de influência, ou seja a metade da extensão do trecho ligado ao nó, sem sobreposição de informação, com um único identificador para cada unidade consumidora. Este método foi adotado na presente pesquisa uma das vantagens desse método é o controle que o operador tem no momento da ligação, podendo definir qual nó está mais próximo da unidade consumidora.

A modelagem hidráulica na rede de distribuição permitiu o conhecimento de parâmetros hidráulicos, do perfil de consumo, de perdas de carga, pressão média na rede de distribuição entre outras informações importantes. Os resultados da modelagem identificaram a situação operacional do setor que podem ser ferramentas importantes para solução de problemas operacionais existentes, tais como: Trechos de rede com elevada perda de carga hidráulica produzindo dificuldades de abastecimento indicando necessidade de redimensionamento das tubulações. Trechos apresentando pressões fora dos padrões estipulados, o que pode ocorrer a existência de rompimentos de tubulação e perdas de água.

BIBLIOGRAFIA

- DZIEGIELEWSKI B.; OPITZ, E (2004). *Water Demand Analysis*. Water Distribution Systems Handbook, Chapter 5. Southern Illinois University Carbondale, Illinois.
- GOMES, H. P. (2004) *Sistema de abastecimento de água: Dimensionamento Econômico e Operação de redes e elevatórias*. 2º edição. Editora Universitária, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 242p.
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2002). *EPANET 2.0 em Português - Manual do Utilizador*. LNEC, Lisboa, Portugal.
- MACKE, S. (2005) *DC Water Design Extension Manual*, Dorsch Consult.
- MARTINS, R.S. (2007) *Instalações de Água Fria*. Notas de aula. Dep. de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Instalações e Equipamentos hidráulicos. Escola Politécnica. São Paulo-SP, 39p.
- PORTO, R.M. (2006) *Hidráulica Básica*. 4ª Ed., Edusp, , São Carlos.
- ROSSMAN, L.A (2000). *EPANET Users Manual*. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.
- SILVA, R. T.; ROCHA, W. S.(1999) *Caracterização da demanda urbana de água - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA*. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano - Presidência da República, Brasília.
- TSOU, M.S.; WHITTEMOREZ, D. O. (2001) *User Interface for Ground-water Modeling: ArcView Extension*. Journal of Hydrologic Engineering, V.6, N. 3. acesso em 19 de dezembro 2008. Disponível em: <http://ascelibrary.aip.org>. Acesso em Dez. 2008
- WHITE, C. (1999) *Using GIS to Implement Hierarchical Organization in Water Distribution System Simulation Models*. ESRI International User Conference,. In: <http://www.esri.com/library/userconf/procpp/proceed/papers/pg386.html>.