

UTILIZAÇÃO DE SIG NO MONITORAMENTO DE AVARIAS EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Marcello Benigno B. de Barros Filho ¹; Lucilene Antunes C. M. de Sá ²; Heber Pimentel Gomes ³

Resumo - Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um aplicativo SIG que possibilita o gerenciamento das redes de abastecimento de água. Com este aplicativo é possível determinar quais válvulas devem ser acionadas no caso de vazamentos e manutenções na rede de abastecimento, e quais os respectivos consumidores que serão afetados com estas manobras. Para a sua criação utilizou-se a modelagem de dados espaciais, que é composta pelas fases de abstração do mundo real, criação do modelo conceitual e implementação do modelo físico, além dos conceitos sobre topologia de rede. Para validar a metodologia utilizada foi desenvolvido um projeto piloto na cidade de Campina Grande – PB, com os dados da CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, onde utilizou-se parte do sistema de abastecimento da cidade. Os testes com o projeto piloto provaram que a partir da metodologia desenvolvida, é possível obter um gerenciamento mais eficaz nas operações de fechamento e abertura das válvulas, tendo como consequência a redução de perdas de água e do tempo total dos serviços de manutenção.

Abstract - This work presents the development of a GIS application that makes possible the management of water network supply. With this application it is possible to determine which valves should be closed in the case of leaks and maintenances in the network of provisioning, and the respective affected consumers with these maneuvers. For this application, was used spatial data modeling, that it is composed by the phases of abstraction of the real world, creation of the conceptual model and implementation of the physical model, besides the concepts on network topology. In order to validate the methodology used a project pilot was developed in the city of Campina Grande-PB, with the data of CAGEPA- Company of Water and Sewers of Paraíba, where it was used part of the supply system of the city. The tests with the pilot project proved that with the methodology developed, it is possible to obtain a more effective administration in the closing and opening operations of the valves, tends as consequence the reduction of losses of water and of the total time of the maintenance services.

Palavras-chave: SIG, redes de abastecimento, modelagem de dados espaciais.

INTRODUÇÃO

As atividades exercidas pelas companhias de saneamento compreendem a produção e distribuição de água, bem como a coleta, tratamento e disposição de esgotos. Estas ações têm impacto no meio ambiente, na saúde pública, na qualidade de vida e na economia. Faz parte de seus objetivos, a busca da qualidade de seus produtos e serviços, bem como a eficiência nos seus

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – Recife – PE - CEP: 50740-530 Fone: 0xx83-88080486 E-mail: marcello_benigno@hotmail.com

² Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Departamento de Engenharia Cartográfica – DECart - Recife - PE CEP: 50740-530 Fone: 0xx81- 2126-8235 E-mail: lacms@ufpe.br

³ Universidade Federal da Paraíba – Campus 1 – Centro de Tecnologia – Área de Recursos Hídricos – João Pessoa - PB CEP: 58.059-900 Fone: 0xx83-2167684 Fax: 0xx83-2167179 E-mail: heber@lrh.ct.ufpb.br

processos o que, atualmente, pode ser apoiado por tecnologias, como coleta de dados através do *Global Positioning System* – GPS, a Cartografia digital e os Sistemas de Geoinformação – SIG.

O setor de saneamento básico no Brasil vem apresentando ao longo das últimas décadas altos índices de perdas de água, que devem ser combatidos através de um conjunto de ações que incluam um melhor planejamento, operação e manutenção dos elementos que o constituem. Nesse sentido, os recursos disponíveis nos Sistemas de Geoinformação permitem efetuar análises e simulações de operação e manutenção em sistemas de abastecimento de água, além de possibilitar, em um único ambiente, o intercâmbio de informações entre o cadastro técnico, responsável pelas redes de infraestrutura, e o cadastro comercial, responsável pelas informações relativas aos consumidores.

Para interromper um determinado vazamento de água em um trecho da rede e promover o seu reparo, a companhia de abastecimento deve rapidamente identificar a menor quantidade possível de registros a serem fechados, evitando que a manobra atinja uma quantidade maior de usuários do que o estritamente necessário, bem como perder tempo no fechamento de registros desnecessários. Para a realização destas manobras as companhias, na maioria das vezes, contam com a experiência de funcionários antigos nos setores de operação e manutenção, que geralmente acabam descobrindo na prática o que fazer e como operar. Tais funcionários são conhecedores empíricos das redes e das suas peculiaridades. Desta forma, o setor operacional das companhias cria uma dependência destes funcionários e a tomada de decisão fica, portanto, apoiada no empirismo e na improvisação. Há necessidade de um gerenciamento mais eficiente dos sistemas de abastecimento, e a ferramenta apresentada neste trabalho poderá contribuir para melhorar este gerenciamento.

No final dos anos sessenta, com o advento das Ciências da Computação e com os avanços da Eletrônica, teve início no Canadá a utilização de produtos cartográficos gerados com o auxílio de computadores. Neste mesmo período surgiram também os Sistemas AM/FM - *Automated Mapping/Facility Management* ou Mapeamento Automatizado/Gerenciamento de Equipamentos. Estes sistemas são baseados na tecnologia CAD (*Computer Aided Drawing*), sendo empregados no gerenciamento de redes de infra-estrutura urbana (CESARIO, 1986). Possuem como característica, a associação de atributos alfanuméricos às entidades gráficas, porém, com capacidade limitada de manipulação de dados não gráficos, além de não executarem análises espaciais. O foco central destes sistemas é a preparação de arquivos gráficos para a impressão ou visualização (HUXHOLD, 1991).

Os Sistemas de Geoinformação diferem dos sistemas CAD, CAM (*Computer Aided Mapping*) e AM/FM pela sua capacidade de estabelecer relações topológicas entre os elementos gráficos. No sentido lato da palavra, a topologia é o ramo da matemática que estuda as propriedades das relações

geométricas dos elementos em um espaço não quantitativo. Relações estas que são: vizinhança, pertinência, conexão, inclusão e interseção (PEUQUET, 1990).

De acordo com BURROUGH (1998) os Sistemas de Geoinformação são compostos de coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais para um determinado propósito. Estes sistemas apresentam como principais características integrar em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, combinando informações através de algoritmos de manipulação para gerar mapeamentos derivados, consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

O conceito de rede em ambiente SIG denota, na maioria das vezes, as informações associadas aos serviços de utilidade pública, como abastecimento de água, gás, luz e telefonia. Cada objeto geográfico (como por exemplo, tubulações, válvulas, ramais prediais, entre outros) possui uma localização geográfica e está associado a um conjunto de atributos (GOODCHILD et. al., 1992).

Os elementos da rede são armazenados em formato vetorial, com topologia arco-nó: os atributos dos arcos incluem o sentido de fluxo em um determinado tempo e os atributos dos nós a impedância. A topologia arco-nó constitui um grafo, formado por um par (N, A) onde N é um conjunto de nós e A é um conjunto de arcos, armazenando informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um aplicativo SIG, através da modelagem de dados espaciais que possibilita a execução de análises de fluxo em redes de distribuição de água a partir da topologia armazenada no sistema, servindo de suporte à tomada de decisão na identificação e operação das válvulas de fechamento, no caso de avarias ou manutenções na rede.

METODOLOGIA

Modelagem de Dados Espaciais

A aquisição dos dados deve obedecer a critérios ao serem importados para o SIG. Estes critérios são determinados na modelagem dos dados espaciais, que pode ser definida como o processo onde a estrutura fundamental de domínio da aplicação é abstraída e capturada. A modelagem é constituída de três fases: abstração do mundo real, definição do modelo conceitual e elaboração do modelo físico (SÁ, 2000).

A abstração de conceitos e entidades existentes no mundo real é o estudo do comportamento da aplicação. Na criação do modelo conceitual, cada uma das entidades capturadas na fase anterior pode ser visualizada em diferentes níveis de complexidade através de diagramas, de acordo com a

necessidade de compreensão e representação dos elementos de interesse do SIG. O modelo físico é a transcrição do modelo conceitual para uma linguagem que o computador compreenda (SÁ e SILVA, 1998). Entre os diversos modelos para especificação de diagramas, segundo o formalismo da orientação a objetos, a UML – *Unified Modeling Language*, merece destaque por ser a junção dos três modelos mais conceituados, a BOOCH, a OOSE e a OMT (BOOCH, 1998).

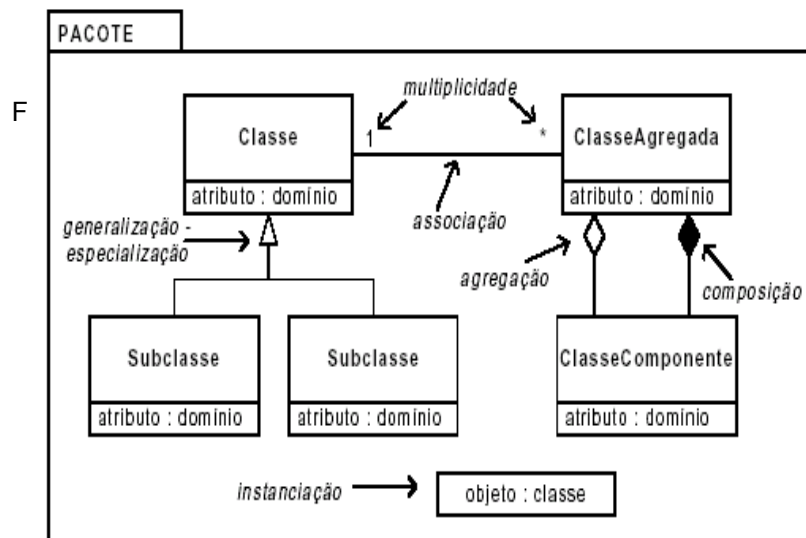
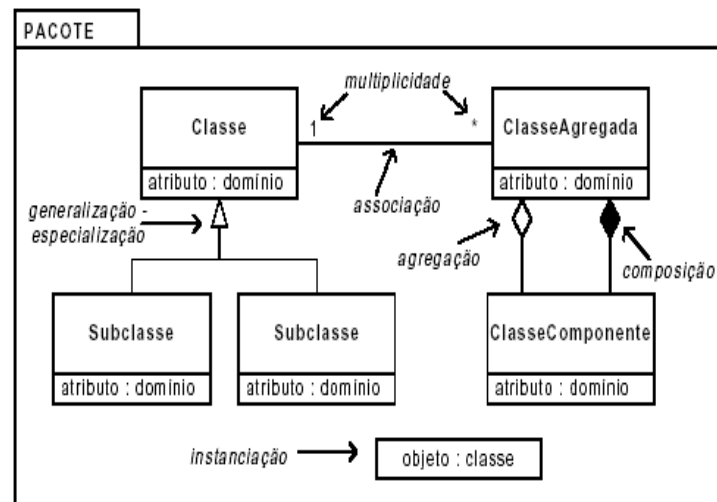
A utilização da linguagem UML em programas de desenvolvimento de software (CASE – *Computer Aided Software Engineering*), como por exemplo, o Rational Rose e o MS Visio, contribui para diminuir o tempo gasto na criação do modelo conceitual e na implementação do modelo físico, já que é possível exportar o modelo de dados criado para um formato que o Sistema Gerenciador de Banco de Dados – SGBD, entenda e gere o modelo físico de forma automática.

Primitivas de Abstração

Os modelos conceituais da UML são construídos fundamentando-se em construtores básicos de abstração, tais construtores podem ser resumidos em (LISBOA, 2001):

- Classificação: refere-se ao processo de abstração no qual fenômenos semelhantes do mundo real são agrupados em uma única classe;
- Instanciação: um objeto pertencente a uma classe é dito ser uma instância desta classe.
- Generalização/Especialização: a generalização é o processo utilizado para definir classes mais genéricas, a partir de classes com características semelhantes. A Especialização é o processo inverso da generalização, onde classes mais específicas são detalhadas, a partir de classes genéricas, adicionando-se novas propriedades na forma de atributos. Esse tipo de abstração estabelece um relacionamento do tipo “é_um”;
- Herança: é a propriedade semântica implícita nos construtores de generalização/especialização, que possibilita a elaboração de modelos de dados mais claros, por reduzir a quantidade de descrições redundantes;
- Agregação: pode ser conceituada como a visão de que uma entidade é composta de outras entidades. O construtor de agregação permite representar relacionamentos do tipo “é_parte_de”, onde um objeto complexo é definido como uma agregação de suas partes;
- Composição: tipo especial de agregação na qual a existência do objeto composto, o todo, depende da existência dos objetos componentes, suas partes.
- Associação: é a primitiva de abstração, onde um relacionamento entre objetos semelhantes é considerado como um objeto conjunto. Tem-se, neste caso, um relacionamento do tipo “é_membro_de”.

A figura 1, extraída de LISBOA (2001), apresenta os principais símbolos gráficos utilizados no diagrama de classes UML. Além dos construtores descritos anteriormente, a figura mostra o elemento pacote, comumente usado para dividir um esquema de classes em temas, de forma a tornar seu entendimento mais simples.



ESTUDO DE CASO

Para avaliar a metodologia utilizada, foi desenvolvido um projeto piloto na cidade de Campina Grande – PB, onde utilizou-se parte do sistema de abastecimento da cidade, compreendendo o bairro de Bodocongó e adjacências (figura 2). Esta área possui aproximadamente 27 km de redes de distribuição de água, dois reservatórios, uma estação elevatória e um total de 510 economias, pertencentes ao setor comercial 42.

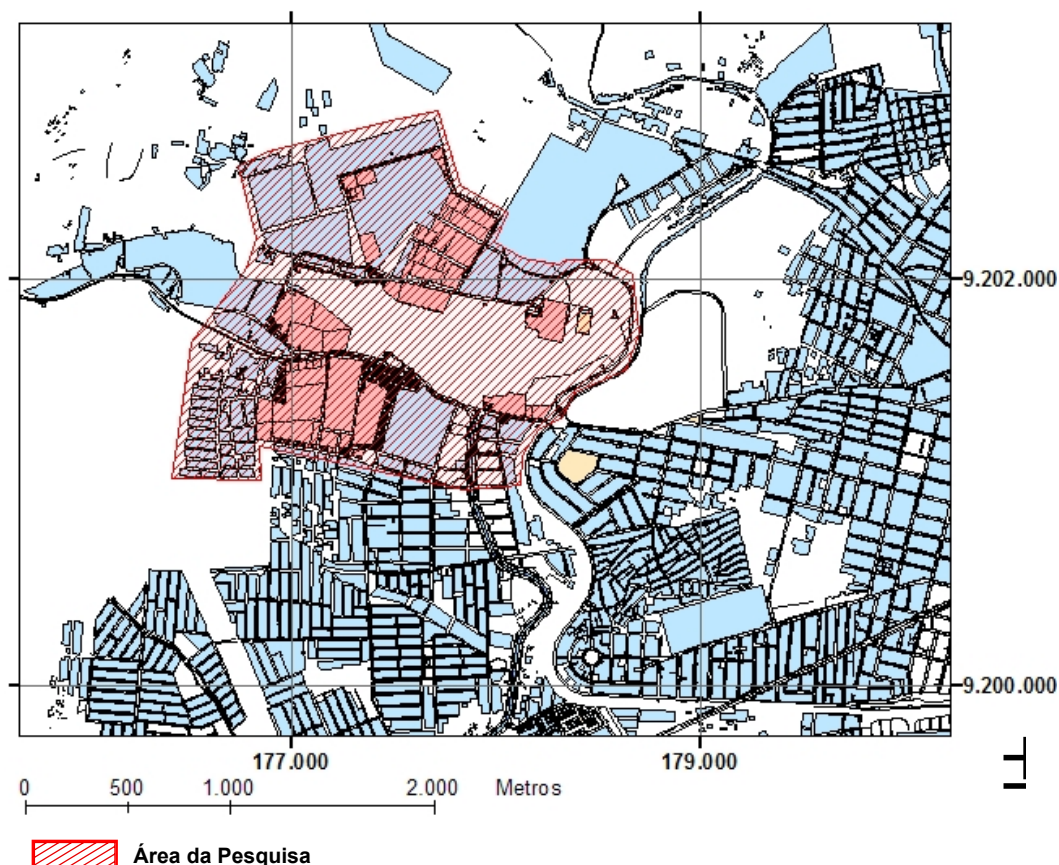


Figura 2 – Localização da área de pesquisa – Escala 1:30.000

Os materiais utilizados durante a implementação do projeto piloto foram disponibilizados pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, e pelo Departamento de Engenharia Cartografia - DECart/UFPE, sendo listados a seguir:

Equipamentos Eletrônicos:

- PC Desktop;
- Dispositivos de saída de dados: impressora e ploter.

Programas Computacionais:

- Programa CAD – AutoCAD
- Programa CASE – Microsoft Visio
- Programa SIG – ArcGIS Desktop

Base Cartográfica

A base cartográfica utilizada na pesquisa foi cedida pela CAGEPA, gerência regional da Borborema, é formada por plantas de quadra contendo os lotes e a rede de distribuição de água,

além dos seus componentes. A base foi obtida através de levantamento topográfico pela ATECEL - Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira, no ano de 2002.

A aquisição desta base foi executada a partir da criação dos marcos da rede de referência cadastral, através de levantamento com receptores GPS, utilizou-se o método relativo estático, conjuntamente com um nivelamento geométrico de primeira ordem utilizando estação total. O sistema de referência da base é o UTM – Universo Transverso de Mercator, zona 24, Datum SAD-69, Elipsóide de Referência 67.

Sistema Desenvolvido

O sistema desenvolvido possibilita o gerenciamento, análises espaciais e de rede dos componentes de um sistema de abastecimento de água.

Atuação do Sistema Desenvolvido

O sistema possui duas demandas, a primeira refere-se à produção e recuperação de informações do cadastro dos clientes da companhia, feita através da visualização espacial dos lotes e dos dados descritivos armazenados em tabelas, contendo informações como: nome do consumidor, endereço, número de matrícula, número do hidrômetro, histórico do consumo, dentre outras.

A segunda demanda diz respeito às análises na rede de distribuição. As operações na rede poderão ser simuladas através da abertura e fechamento de válvulas e/ou registros, em função dos vazamentos da rede ou de operações de manutenção. A partir destas simulações é determinado o conjunto de consumidores afetados com tal manobra. O formato dessas informações produzidas inclui exibição temporária de mapas e tabelas no monitor que podem ser enviados para impressoras de pequeno ou grande porte ou armazenado em arquivos.

Resumo do Sistema

O sistema proposto possui as seguintes funções:

- Gerar a base de dados espaciais;
- Atualizar a base de dados espaciais;
- Validar as alterações do cadastro comercial e técnico;
- Realizar análises espaciais;
- Realizar análises de fluxo de rede a partir da topologia armazenada no sistema;
- Indicar quais válvulas devem ser fechadas na ocorrência de vazamentos e manutenção da rede;
- Indicar os consumidores afetados a partir das manobras na rede;

- Produzir mapas temáticos a partir das consultas e análises, e
- Gerar metadados para a aplicação.

Modelo Conceitual

A figura 3 ilustra parte do modelo conceitual desenvolvido a partir de pesquisas sobre quais funcionalidades seriam exigidas pelos usuários do SIG. As entidades representadas neste diagrama compõem os elementos do sistema de abastecimento da área do projeto piloto. Tais elementos foram estudados criteriosamente, sendo identificados os atributos necessários a cada um e os relacionamentos entre estes elementos. Estes estudos juntamente com os boletins do cadastro comercial, forneceram meios para a arquitetura ideal do SIG.

Para a construção do modelo foi utilizado o programa Visio, que possibilita a exportação do modelo UML criado para o formato XMI, desta forma foi possível exportá-lo para o aplicativo de gerenciamento de dados do ArcGIS, o ArcCatalog. A partir da leitura do arquivo XMI este aplicativo gera automaticamente o Banco de Dados Espaciais, composta pelas classes e relacionamentos definidos no modelo.

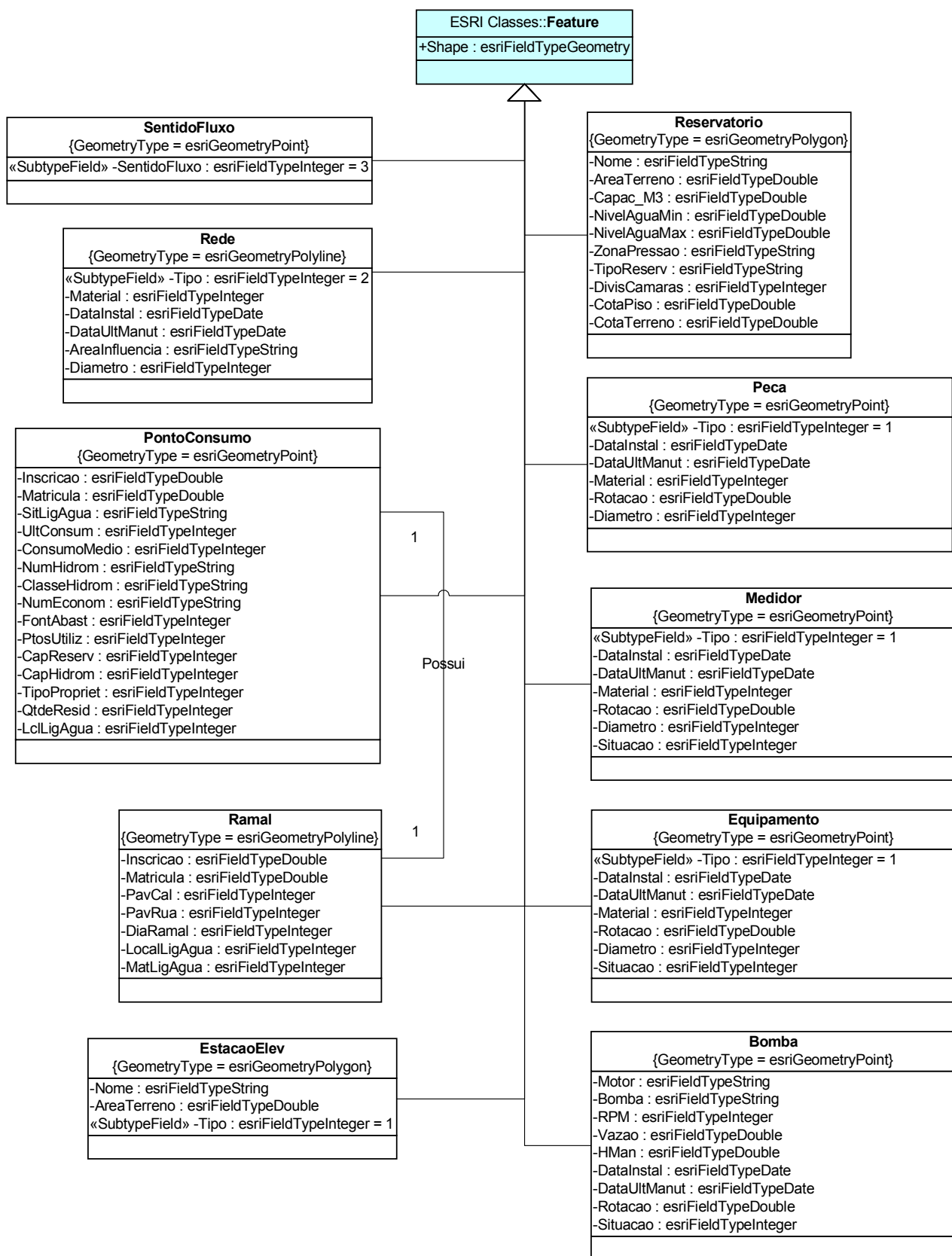


Figura 3 – Parte do modelo conceitual desenvolvido

RESULTADOS

Análises de Rede

As análises de rede são realizadas no SIG, pela extensão *Utility Network Analyst* do ArcGIS, este recurso porém, não possui a capacidade de identificação das válvulas que devem ser fechadas na ocorrência de vazamentos e manutenção da rede, para este tipo de análise foi utilizado a rotina Isolation Trace da ESRI, disponível em: <http://arccomputing.com>

A identificação das válvulas é feita através da análise de fluxo, utilizando-se como ponto de partida o local sobre a rede onde ocorreu o vazamento, como indicado na figura 4, a partir daí são percorridos todos os arcos e nós conectados a esse ponto, com o objetivo de identificar qual a quantidade mínima de nós que impedem o fluxo sobre o local indicado. A análise também leva em consideração o refluxo, ou seja, a mudança de direção da água em consequência do fechamento de um determinado trecho da rede, desta forma, são encontradas as válvulas a serem fechadas, como mostra a figura 5.

O próximo passo é localizar quais são os consumidores atingidos pelo fechamento das válvulas, para isto é utilizado o recurso da análise espacial, onde são determinados quais ramais intersectam o trecho da rede atingida pelo desabastecimento (figura 6), encontrados os ramais, o próximo passo é fazer uma consulta à tabela dos clientes relacionada com os ramais, a partir daí, a concessionária pode imprimir a relação dos consumidores afetados pela manobra.

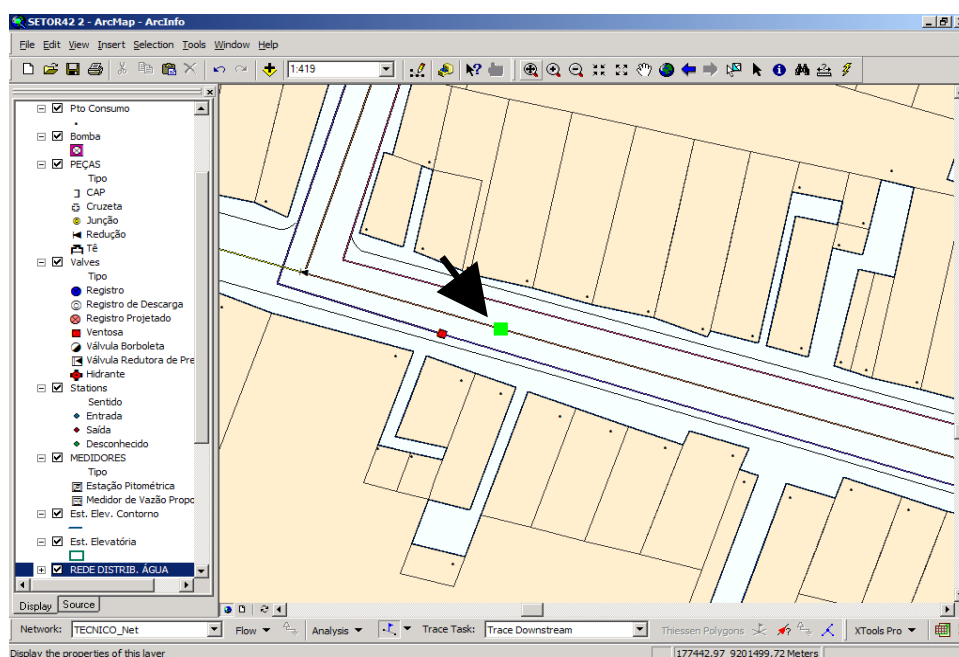


Figura 4 - Identificação do local da avaria

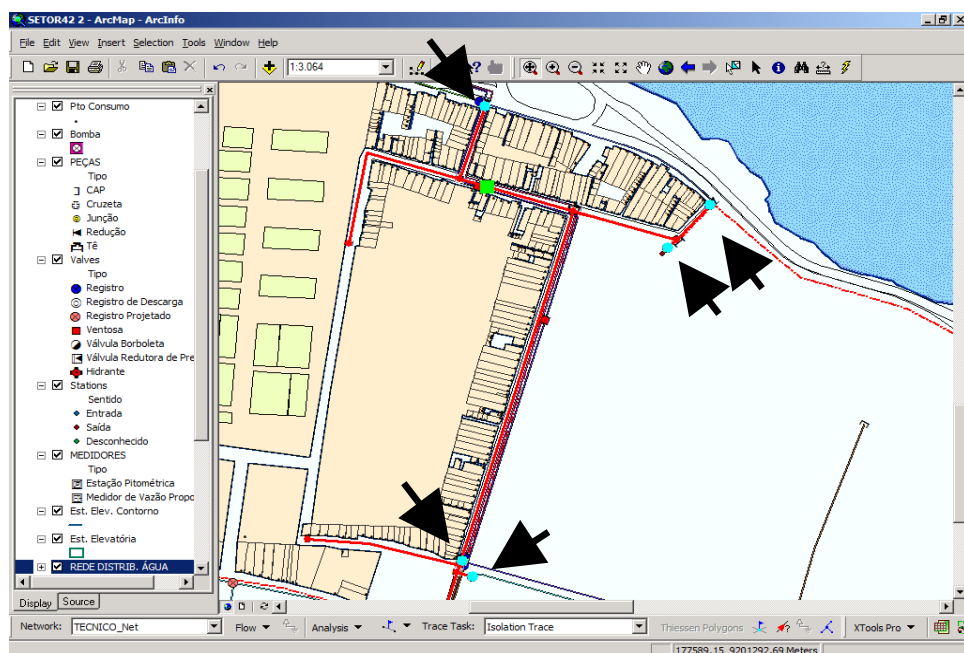


Figura 5 - Identificação das válvulas a serem fechadas

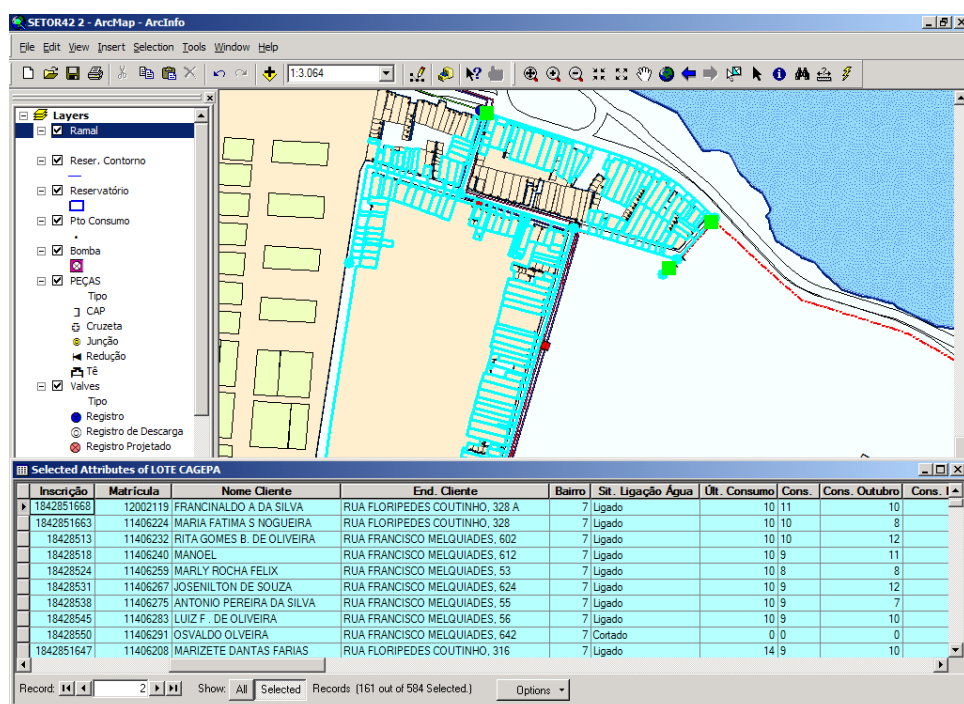


Figura 6 - Relação dos consumidores atingidos pelo desabastecimento

CONCLUSÕES

A tomada de decisão sobre as manobras na rede feitas sem o auxílio do SIG torna-se um processo lento e de difícil análise, exigindo do funcionário grande conhecimento empírico do sistema.

Os testes com o projeto piloto provaram que a partir da metodologia desenvolvida, é possível obter um gerenciamento mais eficaz nas operações de fechamento e abertura das válvulas, tendo como consequência a redução de perdas de água e do tempo total dos serviços de manutenção. No entanto, para que estas simulações sejam bem sucedidas, é necessário que haja por parte da companhia um comprometimento com a atualização da base cartográfica, que é o “coração” do SIG.

A utilização da notação UML na modelagem de dados espaciais possibilita a reutilização do modelo criado para a realidade de outras companhias, logo o modelo criado pode servir de ponto de partida para novas aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOOCH, G.; JACOBSON, I.; RUMBAUGH, J.; *“The Unified Modeling Language User Guide”*. Addison-Wesley, 1998.
- BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R.; *“Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistic”*. Oxford University Press, Oxford, 1998.
- CESARIO, L.; *“Denver’s Mapping Information Management System”*. In: Proc. of AWWA Annual Conference. Denver, Colorado (USA). Ed. American Water Works Association (AWWA). 1986.
- GOODCHILD M. F.; LONGLEY, P. A.; MAGUIRE D.J.; RHIND D. W.; *“Geographical Information Systems”*. John Wiley & Sons, INC. vol.1, 1992.
- HUXHOLD, W. E.; *“An Introduction to Urban Geographic Information Systems”*. Oxford University Press. 1991.
- LISBOA, F. J.; *“Projeto Conceitual de Banco de Dados Geográficos através da Reutilização de Esquemas, utilizando Padrões de Análise e um Framework Conceitual”*. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Ciência da Computação. Universidade do Rio Grande do Sul. São Paulo, 2001.
- PEUQUET, A., MARBLE, D.; *“Introductory Readings in Geographical Information Systems”*. U.S.A. 1990. 388 pp.
- SÁ, Lucilene A.C.M. de.; *“Modelagem de Dados Espaciais para Sistemas de Informação Geográfica: Pesquisa na Emergência Médica”*. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Engenharia de Transportes. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
- _____ e SILVA, Irineu da.; *“O Estudo da Emergência Médica Sob a Ótica do Geoprocessamento”*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO. 3, 1998, Florianópolis, SC. Anais do III Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1998.